BIANCO E NERO

ANNO II • N. 11 • 30 NOVEMBRE 1938-XVII

Segnius irritant animos demissa per aurem
Quam quae sunt oculis subjecta fidelibus et quae
Ipse sibi tradit spectator.

(ORAZIO - Ad Pisones, v. 180 e segg.)

QUADERNI MENSILI DEL CENTRO SPERIMENTALE DI CINEMATOGRAFIA

ERNESTO CAUDA

IL CINEMA A COLORI

Problemi fisiologici e psicologici della cinematografia a colori

Non crediamo che, ormai, sia più il caso di discutere sulla utilità, sulla convenienza, sull'efficacia del colore in cinematografia. Per noi, come per la stragrande maggioranza del pubblico — che conta pure qualcosa — l'elemento cromatico rappresenta un campo di nuove possibilità tecniche ed artistiche offerte al realizzatore e i cui limiti ci sono ancora quasi interamente ignoti.

È vero che, in generale, quando si assiste alla proiezione di una immagine in bianco e nero, non sentiamo la mancanza dell'elemento cromatico, eccetto in alcuni casi in cui il colore potrebbe costituire un elemento essenziale del soggetto. La cinematografia in bianco e nero ci ha abituato all'assenza dell'effetto coloristico, così come il film muto ci aveva disabituati all'elemento sonoro, che pure è parte integrale ed essenziale della realtà degli avvenimenti. L'avvento del colore non dev'essere perciò considerato come un semplice progresso rispetto alla fotografia in bianco e nero, ma come un fattore nuovo che apre all'arte dello schermo nuove, vaste possibilità il cui sfruttamento sarà il compito dei cineasti di domani.

Uno sguardo alla storia della fotografia e delle arti riproduttive foto-meccaniche consente di rilevare che, sino dai primordi, la necessità del colore fu profondamente sentita, così come lo fu quella della riproduzione del movimento. Raggiunta questa, fu la volta della riproduzione del suono. Fotografia in bianco e nero, cinematografia muta in bianco e nero, cinematografia sonora, cinematografia a colori non sono che tappe successive tendenti alla soluzione del vasto e meraviglioso problema della riproduzione degli avvenimenti reali, o anche alla rappresentazione di avvenimenti ipotetici.

Diremo tuttavia in modo incidentale che, se questa fu la successione storica dei progressi in questo campo, essa non corrisponde però alle

immediate aspirazioni delle masse, che sentirono dapprima la necessità del colore, subito dopo la scoperta della fotografia, poi quella del movimento e per ultima quella del suono. La riproduzione del colore, apparentemente molto più semplice di quella del movimento e del suono, entrò assai più tardi nel campo pratico-realizzativo; e questo è dovuto a molteplici cause che non sembra indispensabile indagare in questo breve studio.

Oggi, il problema del colore nel settore cinematografico è all'ordine del giorno, e occupa l'attività e alimenta le speranze di una foltissima schiera di studiosi e d'inventori.

Per dare un'idea di quanto sia sentito questo problema, ove non bastassero la conoscenza delle discussioni che si accendono in ogni paese e le notizie che ci vengono sopratutto d'oltre oceano, ricorderemo che nel 1935 e nella sola Germania, furono rese di pubblica ragione ben 450 domande di brevetto aventi tutte sostenuto con esito favorevole il severo vaglio dell'esame preventivo. Che massa enorme di energie concentrate verso la soluzione di un solo problema tecnico!

Ma dobbiamo pur chiederci quali siano i limiti del problema generale e quali gli scopi cui si deve mirare.

Non sarà inutile, prima di tentare di stabilire questi limiti, fissare le idee su taluni elementi e fenomeni, sui quali regna tuttora parecchia confusione.

E cominciamo da un concetto, che sembra fondamentale parlando di cinematografia a colori, e cioè quello di *riproduzione dei colori naturali*. Non sappiamo bene chi abbia usato per primo questa infelice locuzione; si può però affermare che, chi lo fece, ha contribuito largamente a complicare l'idea che voleva definire, a renderla equivoca e confusa. Infatti, in questa espressione, il concetto di *colore naturale* viene considerato come qualche cosa di definibile, di definito, di ben stabilito, la cui riproduzione sullo schermo rappresenti uno scopo univocamente determinato. Il Weil, nei suoi interessanti lavori sulla psicologia della fotografia a colori, ha posto bene chiaramente in rilievo l'errore fondamentale di questa concezione aprioristica.

« Noi siamo certamente in grado — egli scrive — di definire qualitivamente e quantitivamente l'impressione cromatica e anche di localizzare questa impressione in un determinato punto del corpo colorato, ma non è possibile riprodurre e proiettare l'identica impressione *sic et simpliciter* nelle sue correlazioni psichiche ». È possibile cioè stabilire per ogni punto, con misurazioni fotometriche e colorimetriche, l'in-

tensità e la qualità della luce che esso emette o riflette, ma non è possibile giudicare la riproduzione di tale punto in una pittura o in una fotografia a colori semplicemente sulla base della concordanza di dette misurazioni. E ciò perchè l'osservazione dell'immagine non avviene in rapporto diretto coll'originale, ma si verifica attraverso una rappresentazione soggettiva dell'oggetto, rappresentazione che ha per noi un valore assoluto.

Nessuno oserebbe asserire che un quadro — a qualunque scuola, a qualunque epoca esso appartenga — riproduca in ogni suo punto, anzi in un solo suo punto, la realtà luminosa del punto corrispondente del soggetto; ciò nonostante i nostri musei sono pieni di opere d'arte che, nella loro imperfetta riproduzione teorica, anzi, grazie appunto a questa loro imperfezione, risvegliano in noi emozioni estetiche profonde e incancellabili. Non v'è dunque motivo d'imporre alla fotografia e alla cinematografia a colori un compito ristretto e rigido che nessuno ha mai pensato d'imporre ad altre arti rappresentative, e in particolar modo alla pittura.

Abbiamo dianzi accennato alla impossibilità pratica di riprodurre l'impressione cromatica *nelle sue correlazioni psichiche*. Vediamo ora di penetrare questo concetto e di chiarirlo.

La riproduzione del colore sullo schermo ci pone dinnanzi ad alcuni problemi e fenomeni d'ordine fisiologico e psicologico di cui bisogna tener conto se si vogliono giudicare con obbiettività ed esattezza le condizioni in cui si verifica la visione cromatica sullo schermo e individuare i principi fondamentali su cui dovranno poi basarsi le valutazioni successive di carattere artistico ed estetico.

Una differenza essenziale esiste fra la percezione di una riproduzione acustica e quella di una riproduzione cromatica. Nella prima l'elemento mnemonico ha, nella stragrande maggioranza dei casi, un valore relativo. Quando udiamo la riproduzione di una voce o di un suono sullo schermo, il nostro udito, che è tuttora uno dei meno affinati fra i nostri sensi, non reagisce che molto debolmente per via di confronto coll'originale, e ciò per fortuna; nè, d'altra parte, la percezione acustica dell'*altezza* d'un suono è alterata dalla presenza dei suoni diversi contemporanei. Vale a dire che l'orecchio percepisce sempre una determinata nota come tale, sia essa sola o accompagnata da altri suoni o rumori: ne potrà variare la nitidezza o l'intensità relativa, non l'altezza.

Molto diverso è invece il caso della percezione cromatica. La stessa percezione del bianco e del nero, che sembra a prima vista così asso-

luta, è sottoposta a variazioni stupefacenti, nel senso della relatività. L'occhio non giudica mai secondo valori assoluti, essendo questi valori profondamente influenzati da elementi mnemonici e di contrasto. Se, per esempio, si facesse la misurazione fotometrica delle quantità di luce riflesse da un pezzo di gesso in una giornata invernale a cielo coperto e da un pezzo di carbone in una giornata estiva, si potrebbe constatare che tali quantità di luce sono press'a poco uguali. Ma per noi il gesso sembra sempre bianco e il carbone sempre nero. Ciò è dovuto, come si è detto, non solo al contrasto cogli oggetti circostanti, ma anche alla memoria visiva.

Analogamente avviene per i colori, sopratutto se considerati dal punto di vista della vivacità. Colori come il rosso-bruno, il marrone, l'oliva, che, considerati alla luce libera e in prossimità di altri colori, ci sembrano smorti, esaminati attraverso a un tubo annerito internamente, e munito di un foro ad una estremità, appariranno rispettivamente arancione, rosso e verde-giallastro.

Se si misura la trasparenza dei punti che ci sembrano bianchi, di una fotografia a colori fatta su lastra autocroma, risulterà che essa supera quella di un filtro grigio che assorbe due terzi della luce incidente; eppure quei punti, per contrasto, ci sembrano bianchi, mentre sono in realtà grigi. Nello stesso modo percepiremo, sulla stessa lastra, come rossi, arancione o verde chiaro, punti che, in realtà sono marrone, bruno o verde scuro.

Il colore può essere definito come una realtà relativa, variabile secondo il punto di vista da cui lo si considera. Fisicamente esso è una vibrazione luminosa di determinata lunghezza d'onda, e in tal modo — e solo in tal modo — può essere univocamente determinato. Fisiologicamente esso è l'effetto dell'eccitazione della rètina mediante le suddette vibrazioni; ma, anche nei casi di vista normale, questo effetto varia, a parità di tutte le condizioni fisiche esterne, secondo molte circostanze. È noto che una foglia verde può apparire gialla o anche grigia, se l'immagine si forma, anzichè nella parte centrale, in quella periferica della rètina. Occorre poi anche tenere presente che i due elementi costitutivi della rètina, i coni e i bastoncini, reagiscono in modo diverso all'eccitazione luminosa; i primi percepiscono essenzialmente il colore, i secondi l'intensità della luce.

Tutta la percezione ottica è basata sui contrasti; lo sanno i pittori e anche i fotografi; le ombre appariscono tanto più intense quanto più forte è l'illuminazione generale; esse sembrano assai più scure in un

pieno meriggio estivo che all'alba o al tramonto mentre, fisicamente, non lo sono.

Anche la mobilità dell'occhio esercita una notevole influenza sulla percezione dei colori così come la esercita sulla percezione della profondità del soggetto. È noto che il nostro occhio, mobilissimo, scruta i vari punti del soggetto, portando istintivamente, e successivamente, l'immagine di questi punti sulla parte più sensibile della rètina. Questa viene perciò colpita da una rapida successione d'immagini di porzioni del soggetto, di diverso colore e di diversa intensità luminosa, ciò che accresce notevolmente l'effetto di contrasto. Assai diverso è invece il caso di una percezione fatta sotto un piccolo angolo visuale, in modo da non rendere più necessaria la mobilità dell'occhio; in questo caso viene a mancare l'effetto di contrasto, e la percezione si verifica semplicemente in base alle luminosità assolute, sempre assai inferiori a quelle apparentemente percepite per contrasto. È questo il caso dello spettatore posto dinnanzi ad uno schermo da proiezione, e, più ancora, dell'osservatore che esamina una fotografia a colori.

* * *

Abbiamo dunque fatto alcune brevi considerazioni d'ordine fisico e fisiologico circa la percezione dei colori. Ma non meno importante è il fattore psicologico. Considerata dal punto di vista prettamente psicologico, la percezione dei colori non è quasi mai separata da quella di un oggetto che, secondo i nostri sensi, sembra possedere quel colore. L'idea astratta del colore non esiste in tutti gli individui, ma solo in alcuni, psicologicamente più evoluti. È praticamente impossibile alla quasi totalità degli individui separare l'idea di un colore da quella di certi oggetti che sembrano particolarmente definiti dal loro colore; il blu rievoca inevitabilmente il ricordo del cielo sereno, il rosso quello del sangue, il verde quello delle foglie e dei prati. Molti animali in prigionia vivono meglio in ambienti verdi e azzurri, perchè essi ricordano loro la libertà del cielo, delle foreste, dei prati; il color rosso eccita generalmente le belve perchè ricorda loro la vista del sangue delle vittime. D'altra parte riesce difficilissimo « rivedere » un colore a occhi chiusi, anche se, psichicamente, lo « ricordiamo » perfettamente e lo riconosceremmo subito, rivedendolo. È vero che talvolta, noi abbiamo la sensazione dei colori anche a occhi chiusi o nell'oscurità, ma è questo un fenomeno

fisiologico, non psicologico, dovuto ad eccitazioni residue o involontarie del sistema nervoso visivo. Appartiene a questo stesso gruppo di fenomeni la sensazione del colore complementare, che si ha dopo aver guardato per qualche tempo un determinato colore. Fissando, per esempio, un oggetto rosso fortemente illuminato e poi guardando un fondo bianco, l'occhio percepisce per qualche istante una colorazione verde.

Così pure, se si proietta sullo schermo un fotogramma costituito da un fondo blù, avente al centro un foro bianco, si percepirà l'immagine di questo foro, non bianca, ma gialla. Per lo stesso motivo la luce del sole ci appare giallo-oro, mentre è perfettamente bianca.

Ma torniamo ai fenomeni psichici. Abbiamo detto che la memoria del colore ha carattere eminentemente oggettivo e non soggettivo. I sogni sono per lo più, per non dire sempre, privi di colore, e, se anche fossero colorati, ben difficilmente se ne ricorderebbero i colori dopo il risveglio.

Tutte queste considerazioni hanno lo scopo di consentirci di giungere alla conclusione che l'effetto cromatico, vale a dire la sensazione che lo spettatore riceve dinnanzi ad una proiezione a colori, è il risultato di un complesso di fattori fisici, fisiologici e psicologici nel loro insieme assai diversi da quelli che si verificano nella visione normale di un soggetto in natura.

Se ne deduce che una proiezione a colori ci parrà tanto più avvicinarsi alla perfezione, quanto più essa sarà capace di risvegliare in noi una sensazione analoga a quella che noi riceviamo dal soggetto (o da soggetti analoghi) per effetto del nostro processo psico-mnemonico interiore.

Espresso così questo concetto sembra alquanto astruso, ma qualche esempio lo renderà assai più chiaro. Tutti abbiamo visto proiezioni colorate, specialmente di esterni, che, pei loro colori troppo vivaci, sono state paragonate a « cartoline illustrate », o a « oleografie ». Eppure è assai probabile, per non dire certo, che il blu del cielo corrispondeva al vero azzurro del cielo sereno, e il verde a quello delle foglie e delle erbe dei prati. Come è anche vero che, nelle cartoline illustrate e nelle oleografie i colori sono assai più prossimi alla natura di quanto non lo siano in un bel quadro d'autore. Ora la cartolina dai colori violenti piace al semplice più del bel quadro perchè la minore sensibilità dell'individuo di poca cultura richiede una più forte eccitazione. Il fenomeno è generale. Ma l'occhio esperto, più sensibile, soffre dell'eccesso di vivacità, come si disse, apparentemente maggiore, dovuto

alla vicinanza dei diversi colori e alla immobilità dell'occhio. Il semplice comincia a percepire una sensazione gradevole, se non un'armonia, là dove il colto rileva delle discordanze. E viceversa l'individuo artisticamente educato percepisce armonie dove il primo, ancora, non sente nulla.

È caratteristica, in questo campo, la diversità che si manifesta fra le tendenze dei tecnici e quelle degli artisti. I primi, nell'entusiasmo della vittoria sulle difficoltà pratiche — che sono enormi — della riproduzione dei colori, tendono ferocemente verso una vivacità che appare stridente e insopportabile alla sensibilità degli esteti. E questi chiedono disperatamente ai tecnici una morbidezza, una tenuità che a quelli sembra inadeguata e priva d'interesse.

Quanto siamo dunque distanti dal deprecato concetto del « colore naturale »! E quanto è breve lo spazio che separa l'errore per eccesso dall'errore per difetto! E quanto è difficile raggiungere, presso masse eterogenee, come sono quelle cui è destinata la proiezione cinematografica, la necessaria via di mezzo che possa, se non accontentare tutti, per lo meno scontentare il minor numero possibile di spettatori.

A noi sembra che il vero nocciolo della questione sia qui. Si dice: l'opera d'arte è eterna e universale. È vero; ma chi stabilisce questa eternità e questa universalità? Certamente una ristretta *élite* di sensibili competenti. Un suffragio universale in materia di giudizio artistico ci darebbe certamente risultati altrettanto strabilianti quanto inattesi, oggi ancora, in pieno sviluppo intellettuale e culturale.

La storia dell'arte pittorica, nei suoi rapporti colla sensibilità delle masse, può esserci preziosa per illuminarci a questo riguardo.

È stato detto che gli « impressionisti », nel secolo XIX, hanno scoperto una nuova maniera di « vedere ». Quando costoro esposero, verso il '70, i loro primi lavori, il pubblico parigino reagì in ogni senso, con estrema vivacità. Era stato presentato qualcosa di nuovo, di diverso, d'impensato; qualcosa che doveva, anzitutto, essere compreso. Lo Hamann ha definito l'impressionismo come una ricerca e una intensificazione dei contrasti cromatici, di cui l'occhio comincia a rendersi conto quando s'abitua a prescindere dagli oggetti. Paul Cézanne ha raggiunto un vertice in questa tendenza, dando al colore un incontrastato dominio.

Nell'espressionismo la tendenza è ancor più marcata; in esso il colore già s'allontana dal livello della pura realtà, e lo supera. Anche qui la sensibilità della massa ha reagito, ma ha finito per accettare.

Abbiamo fatto ricorso a queste reminiscenze per ricordare l'enorme importanza che ha, in tali campi, l'educazione delle masse, l'abitudine all'osservazione e, perchè no? alla riflessione. Non diversamente dovranno svilupparsi i rapporti fra cinematografia a colori e spettatori di pari passo coi progressi tecnici. Si avranno progressi d'ordine artistico ed estetico; e il colore potrà essere in certi casi elemento secondario e in altri elemento dominante; e frattanto le masse s'abitueranno a considerarlo non più semplicemente come qualcosa di nuovo, di diverso e forse anche di non necessario che si è venuto insinuando aggiungendosi a quanto già preesisteva nell'opera cinegrafica, ma come un elemento capace di apportare, sopratutto grazie ai processi psicomnemonici di cui abbiamo parlato, nuovi elementi emotivi a quelli già proprii della cinematografia in bianco e nero.

* * *

Ritorniamo ora al problema tecnico, che abbiamo momentaneamente perso di vista. Quali sono dunque i limiti nei quali dobbiamo circoscriverlo?

A noi sembra che i limiti (teorici) da stabilire al problema tecnico possano essere così formulati: *possibilità di riprodurre tutta la gamma cromatica percettibile dall'occhio umano*. E basta. È molto, lo sappiamo; ma, per fortuna, l'occhio umano si presta, come l'orecchio, a qualche piccola o grande mistificazione. Insomma, la tecnica offre all'artista la sua tavolozza, i suoi colori; dovrà l'artista imparare a servirsene secondo gli scopi estetici ch'egli intende raggiungere.

E per scendere dalle considerazioni teoriche e generali alla pratica di attuazione, e anche per chiudere questa premessa, esporremo un esempio. Un realizzatore si trova di fronte ad un soggetto campestre di cui fanno parte prati e alberi di diverse gradazioni e tonalità di verde.

Non è punto detto che il realizzatore *deva* riprodurre il paesaggio con quelle tonalità e gradazioni: ma il sistema dev'essere in grado di riprodurle, come dev'essere in grado di variarle, ben'inteso, entro determinati limiti, a seconda del desiderio e degli scopi che il realizzatore si prefigge. In altre parole il sistema deve consentire una certa *latitudine* nella riproduzione cromatica. Diciamo subito che ciò è possibile come vedremo più tardi mediante un opportuno impiego di filtri, di illuminazioni sussidiarie, di variazioni nei sistemi di colorazione, di stampa, ecc.

Abbiamo dunque determinato in modo generico la prima ed essenziale caratteristica che un sistema a colori deve possedere. Naturalmente un sistema per la cinematografia a colori da impiegare nella pratica della produzione deve possedere anche altre caratteristiche che incidono sopra tutto sul costo. Vale a dire: il sistema dev'essere praticamente attuabile e adattabile alle esigenze industriali ed economiche di una produzione normale, non essendo possibile trasformare una lavorazione industriale in una serie di delicati, complessi e costosi esperimenti più o meno aleatori di laboratorio.

Teoria generale della cinematografia a colori

LA SELEZIONE CROMATICA

È noto che l'occhio umano percepisce il colore quando esso è colpito da vibrazioni, che si suppongono elettromagnetiche, la cui lunghezza d'onda varia da un massimo di circa 700 m μ (rosso cupo) a un minimo di circa 400 m μ (violetto), o da una miscela di vibrazioni contenute entro questi due limiti. È pure noto che la luce solare può essere decomposta in una serie di colori semplici (rosso, arancio, giallo, verde, azzurro, indaco e violetto) che da soli, o diversamente combinati, dànno la gamma cromatica percepibile dall'occhio. Il problema che si pone per la riproduzione del colore si può dovunque suddividere in due fasi:

1) *scomposizione* (qualitativa e quantitativa) dei vari colori naturali nelle loro componenti semplici spettrali;

2) *ricomposizione* (qualitativa e quantitativa) dei vari colori in base alla precedente scomposizione.

Teoricamente occorrerebbe perciò, anzitutto, scomporre la policromia del soggetto in tante immagini selettive quanti sono i colori semplici dello spettro, e cioè in sette immagini. Fortunatamente questo procedimento, che sarebbe complicatissimo in pratica, può essere semplificato grazie alla possibilità di ricomporre, con sufficiente approssimazione, la gamma infinita dei colori naturali mediante la miscela opportunamente regolata di tre soli colori, detti fondamentali, e che sono il *rosso,* il *verde* e l'*azzurro.*

Si è constatato che una miscela di tutti i raggi relativi alla porzione dello spettro compresa tra i 700 e i 600 m μ produce l'impressione del

rosso vivo; mentre una miscela delle lunghezze di onda fra i 600 e i 500 mμ dà l'impressione del verde. Infine una miscela delle lunghezze fra i 500 e 400 mμ dà l'impressione dell'azzurro. Si è perciò convenuto di chiamare *fondamentali* questi tre colori: rosso, verde e blu. La miscela di questi tre colori fondamentali riproduce il bianco. Si è poi pure dimostrato che i colori semplici intermedi possono essere riprodotti anche con miscele diverse di due o tre colori fondamentali, scelti naturalmente in giusta quantità. Così, un arancione, costituito da tutte le radiazioni rosse e da quelle della metà del verde di onda più lunga, può essere sostituito da una miscela di tutte le radiazioni rosse e di tutte quelle verdi, quest'ultima, però, d'intensità metà delle precedenti.

Stabilito perciò che tutte le gradazioni dei colori possono essere riprodotte con sufficiente esattezza mediante opportune miscele dei tre colori fondamentali, il problema della fotografia dei colori risulta considerevolmente semplificato. Basterà, in teoria, riprendere contemporaneamente tre negativi selezionati delle zone spettrali rosse, verdi e azzurre del soggetto, stampare i rispettivi positivi, proiettarli contemporaneamente sullo schermo in modo che i contorni coincidano perfettamente e frapporre sul percorso dei raggi luminosi di ciascuna immagine selettiva un filtro corrispondente a quello usato nella presa: l'immagine colorata si ricostituirà sullo schermo.

Vedremo in seguito come questo sistema, apparentemente il più logico, sia stato superato da altri nel corso del progresso degli studi in questo campo.

Questo procedimento, che costituisce il fondamento dei sistemi così detti a sintesi cromatica additiva, rappresenta il cammino più logico e più breve per risolvere il problema della riproduzione dei colori. Ma, come vedremo diffusamente in seguito, il cammino più breve non è sempre il migliore.

Ad ogni modo, qualunque sia il sistema adottato, il punto di partenza è sempre il medesimo, e cioè l'ottenimento di tre negativi parziali, rappresentanti la selezione monocromatica della policromia dell'oggetto attraverso tre filtri fondamentali.

Una certa approssimazione è ottenibile anche impiegando procedimenti bicromici (*bicromia* o *dicromia*). È innegabile che questi processi sono assai più semplici di quelli tricromici e perciò assai meno costosi; tuttavia bisogna riconoscere che, in molti casi, essi appaiono insufficienti per deficienza di tavolozza. Ciò nondimeno, i loro vantaggi

pratici sono tali che, oggi ancora, non pochi studiosi si sforzano di perfezionarli, come vedremo in seguito. Nella trattazione generale, però, noi ci riferiremo sempre ai processi tricromici, considerando che la dicromia non è che un caso particolare e semplificato della tricromia.

* * *

Come avviene la selezione cromatica?

Essa non è così semplice come potrebbe sembrare a prima vista, specialmente se si tiene conto delle gravi esigenze di perfezione che si impongono alla resa dei colori. La fig. 1 rappresenta il diagramma delle

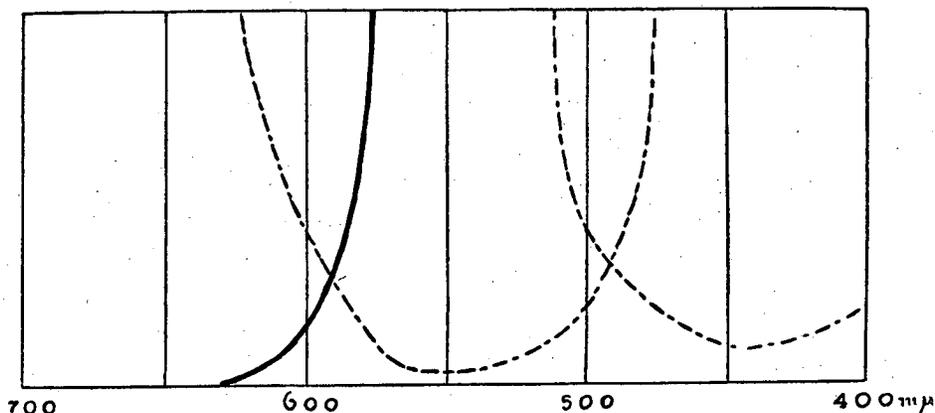



Fig. 1. — *Trasparenza dei filtri*: *rosso* (*a sinistra*), *verde* (*al centro*) e *blu* (*a destra*). (*sintesi additiva*)

trasparenze di tre filtri: rosso, verde e blu, così come essi normalmente s'impiegano nei sistemi a sintesi addittiva.

L'esame di questi diagrammi ci mostra come, per esempio, il filtro rosso lascia passare quasi tutte le radiazioni comprese fra 700 e 600 mμ e diviene rapidamente opaco per tutte quelle che siano di poco al disotto di quest'ultima lunghezza. Analogamente può dirsi degli altri due filtri. Però le zone di trasparenza si sovrappongono in parte e i punti d'incrocio dei diagrammi sono abbastanza bassi, sì che si può dire che solo due piccole zone, quelle dell'arancione e del verde-azzurro (circa 600 e 500 m rispettivamente) si trovano in una situazione leggermente sfavorita.

La luce che attraversa i tre fili è quella di lunghezza d'onda media corrispondente ai tre colori fondamentali. Ma vi sono colori

diversi da quelli fondamentali, e in tal caso bisogna conoscerne la composizione, per giudicare *a priori* in qual modo avverrà la selezione cromatica. Il color porpora, detto « magenta » dagli Anglosassoni, per esempio, è composto da una miscela di rosso e di blu. I raggi di questo colore passeranno perciò tanto attraverso al filtro rosso quanto attraverso a quello azzurro, e precisamente nei quantitativi esattamente corrispondenti alle percentuali di rosso e di blu che lo compongono.

È evidente che queste percentuali dipendono anche dal colore, o meglio dalla trasparenza cromatica dei filtri, perchè non v'è un solo punto di blu, nè un solo punto di rosso. Se ne deduce, fra l'altro, che le caratteristiche cromatiche dei filtri debbono essere ben *bilanciate*, vale a dire che le quantità di raggi emergenti debbono essere esattamente proporzionali alle percentuali cromatiche che formano il colore del soggetto.

Tutto questo in teoria pura. Ma bisogna anche tener presente che la luce emergente dai filtri deve colpire delle emulsioni sensibili, i cui annerimenti devono risultare proporzionali alle quantità di luce che le colpiscono. Ora, le emulsioni fotografiche sono, in generale diversamente sensibili ai diversi colori, donde deriva la necessità di usare emulsioni che siano in pratica egualmente sensibili a tutti i colori dello spettro (emulsioni *pancromatiche* o *superpancromatiche*). Tuttavia, se queste possono essere utilmente adottate nei sistemi nei quali s'impiegano pellicole separate per ciascuna selezione, esse non sono più sufficienti pei sistemi a selezione successiva (v. oltre) nei quali ciascuna emulsione dev'essere sensibile soltanto ai raggi di un determinato colore.

È ovvio che qualunque discordanza fra le quantità di luce selezionate e gli annerimenti, o meglio ancora fra i rapporti delle luci tra loro e degli annerimenti fra loro, è causa di errori nella resa delle tonalità cromatiche. Ne derivano complessi legami fra qualità selettive dei filtri e sensibilità delle emulsioni, il cui studio, qui, ci porterebbe troppo lontano. Ci basti aver delineato il problema e la sua notevole complessità.

SINTESI ADDITTIVA E SINTESI SOTTRATTIVA

Ottenuta, coi mezzi di cui parleremo in seguito, l'analisi cromatica che porta ai tre fotogrammi selezionati secondo i principi accennati nel capitolo precedente (*monocromi*), bisogna ricomporre l'immagine policroma procedendo alla sua sintesi. Questa sintesi può essere

additiva o *sottrattiva*. *Grosso modo* si può dire che i sistemi a sintesi additiva sono quelli nei quali la pellicola passa nel proiettore allo stato di fotografia in bianco e nero; negli altri è la pellicola stessa che risulta colorata.

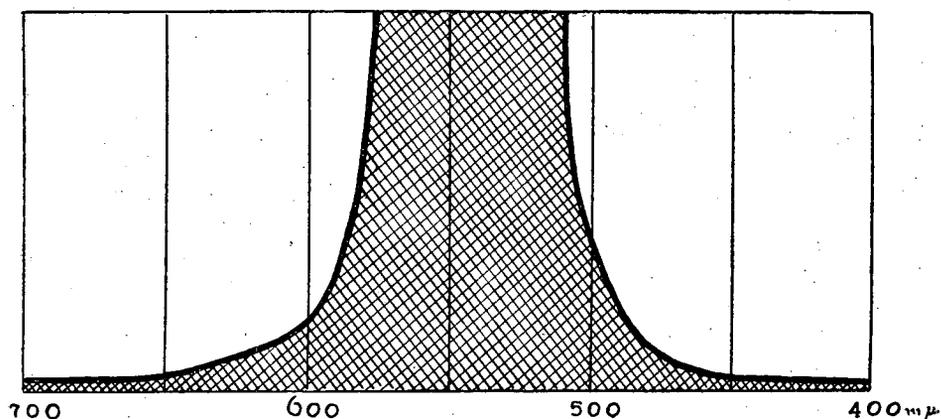



Fig. 3. — *Curva d'assorbimento del porpora* (*sintesi sottrattiva*)

Le spiegazioni che seguono serviranno anche a giustificare le due denominazioni. E cominciamo dal sistema più semplice: quello della *sintesi additiva*.

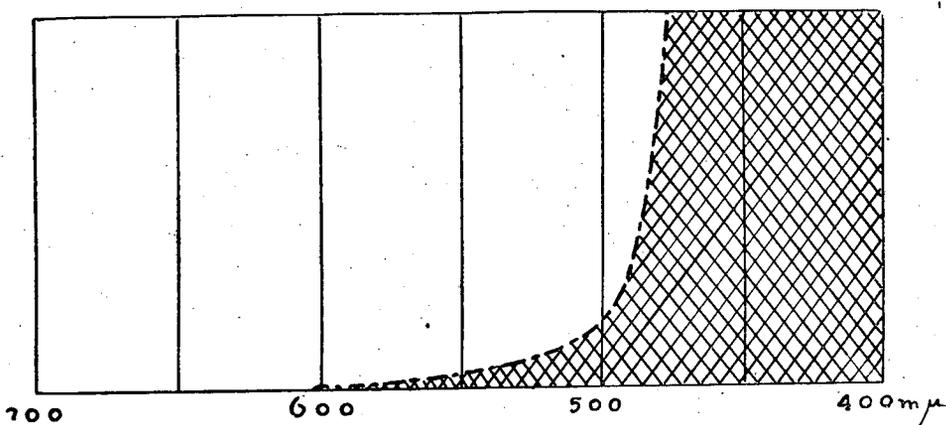



Fig. 4. — *Curva d'assorbimento del giallo* (*sintesi sottrattiva*)

In questa sintesi le tre immagini selettive positive — riprese cioè dietro tre filtri colorati rispettivamente in rosso, in verde e in blu, e poi stampate in bianco e nero — vengono proiettate contemporaneamente sullo schermo e fatte coincidere nei contorni, in quanto non vi

sia errore di parallasse locale o temporale (v. oltre). Dinnanzi ad ognuna delle tre immagini viene disposto un filtro trasparente *dello stesso colore* del corrispondente filtro di presa. Per sommazione si riproduce sullo schermo l'immagine policroma del soggetto.

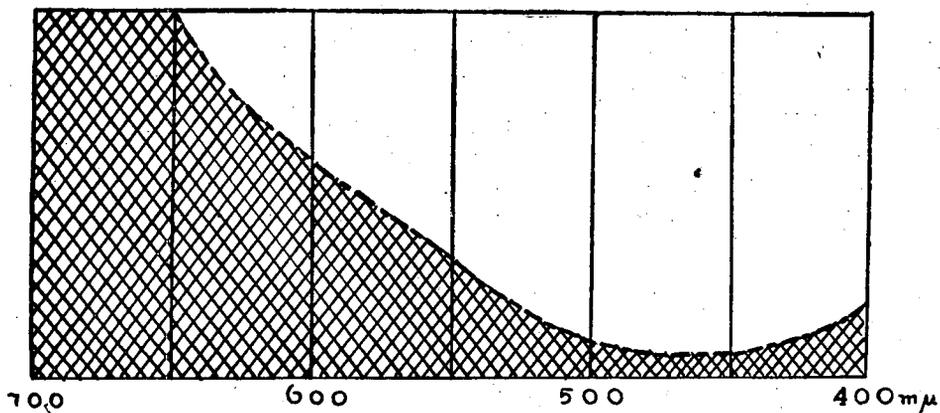



FIG. 5. — *Curva d'assorbimento del verde-azzurro* (*sintesi sottrattiva*)

Lo schema di cui alla fig. 2 (Tav. I) dà la spiegazione esatta del procedimento in un sistema a sintesi addittiva. È da notare, confrontando anche i diagrammi della fig. 1, che gli annerimenti della zona giallo-

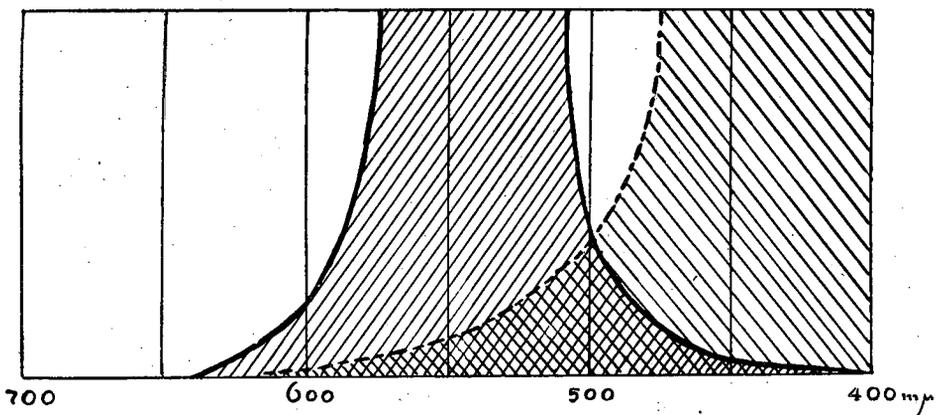



FIG. 6. — *Assorbimento porpora più giallo* (*sintesi sottrattiva*)

verde-blu variano d'intensità secondo i tre filtri, e che perciò, nella sommazione, il rosso più verde (zona del giallo) e il verde più blu (zona del verde e del blu) debbono risultare dosati in modo da ottenere l'esatta riproduzione dei colori delle rispettive zone.

In questa sintesi il bianco è ottenuto per sommazione dei tre colori fondamentali, il nero per l'opacità di tutti e tre i positivi.

Abbiamo detto che i sistemi a *sintesi sottrattiva* sono quelli nei quali l'immagine sul film è colorata; la proiezione ha luogo allora mediante un fascio di luce bianca che si colora diversamente attraverso le singole parti colorate (e trasparenti) dell'immagine.

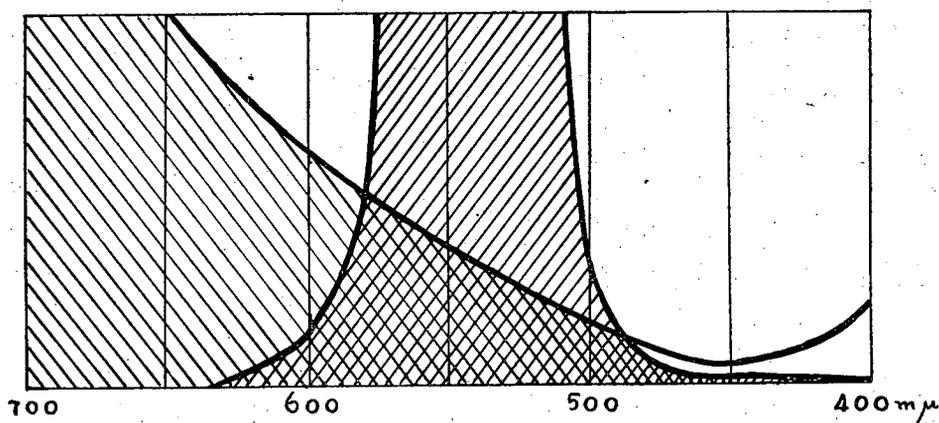



FIG. 7. — *Assorbimento porpora più verde-azzurro (sintesi sottrattiva)*

Il principio applicato in questi sistemi è sostanzialmente diverso da quello su cui si basa la sintesi additiva.

Anche per questi sistemi si parte da tre immagini selettive monocromatiche, ottenute mediante tre filtri di presa di diverse colorazioni. I tre monocromi, colorati nelle tinte appropriate, vengono sovrapposti l'uno sull'altro, in perfetta coincidenza dei contorni, sullo stesso supporto, con procedimenti vari, che vedremo in seguito.

Naturalmente anche le parti colorate (corrispondenti ai neri dell'immagine) devono essere perfettamente trasparenti, senza di che non sarebbe possibile fare la proiezione. Per quanto riguarda i bianchi, le parti corrispondenti dei tre monocromi devono restare trasparenti e senza colore affinchè la luce del proiettore possa attraversarle senza modificazione.

Ma anche i tre colori fondamentali rosso, verde e blu, usati per la sintesi additiva, non sono più adatti per quella sottrattiva. Infatti, se sovrapponessimo i tre monocromi di questi colori, avverrebbe, per esempio, che la luce che ha attraversato il monocromo rosso non potrebbe attraversare quello verde. Per la scelta dei tre colori per la sintesi sot-

trattiva vale l'osservazione, che le parti scure del positivo rappresentano precisamente le parti del soggetto per le quali il corrispondente colore è stato assorbito, o meglio, *sottratto*. E perciò, per la colorazione del positivo monocromo, occorrerà scegliere un colore che *sottragga* an-

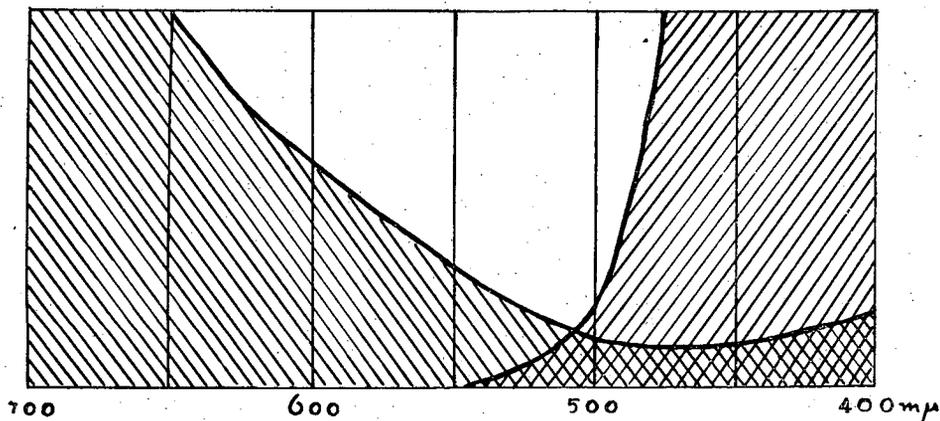



Fig. 8. — *Assorbimento giallo più verde azzurro (sintesi sottrattiva)*

ch'esso il colore corrispondente del soggetto, e questo colore non può essere che il *complementare del filtro*. Questi colori complementari sono il *giallo* per il monocromo blu, il *porpora* per il monocromo verde, e l'*azzurro-verdastro* per il monocromo rosso.

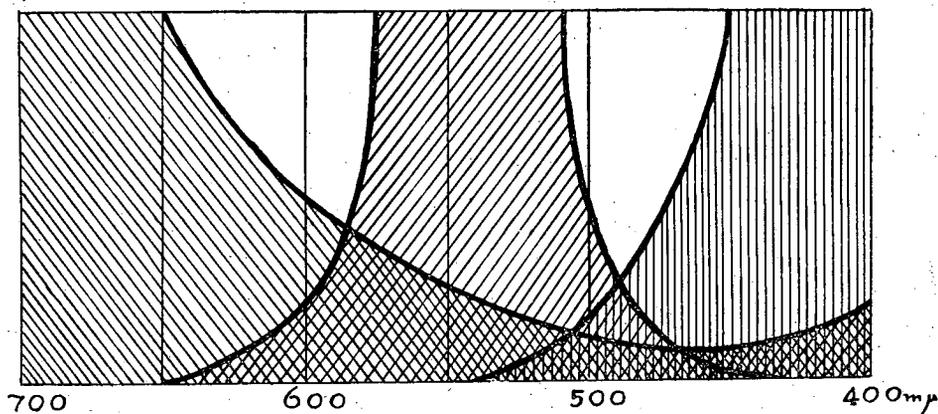



Fig. 9. — *Assorbimento dei tre colori fondamentali nella sintesi sottrattiva*

L'esame delle figg. 3-9 conferma quanto si è detto; infatti i tre colori sovrapposti assorbono tutta la luce, mentre, accoppiati a due a due, lasciano passare la luce del colore fondamentale del terzo mono-

cromo. È facile constatare, dall'andamento delle curve, che il porpora e il giallo assieme lasciano passare il rosso (fig. 6); il porlora e il verde-azzurro lasciano passare il blu (con poco arancione) (fig. 7); il giallo e il verde-azzurro lasciano passare il verde (fig. 8). I tre colori assieme danno il nero (fig. 9).

Nella sintesi addittiva, invece, come si ricorderà, i tre colori fondamentali, assieme, dànno il bianco.

La fig. 10 (Tav. II) rappresenta schematicamente il processo cromatico di un sistema a sintesi sottrattiva. Si noti, per la comprensione dello schema, che i *neri del positivo* vengono colorati nei colori complementari a quelli del filtro.

Circa la sottrazione si osservi che, togliendo alla luce bianca prima le radiazioni verdi e poi quelle rosse, si ottiene il giallo; sottraendo invece prima le radiazioni blu e poi le rosse si ottiene il verde.

Ma si può giungere a questo risultato anche con osservazioni di ordine più elementare. Quando si stende un colore all'acquarello sopra un foglio di carta bianca, si vengono a sottrarre al bianco riflesso del foglio, tutti i colori dello spettro meno quello del colore che si è steso sul foglio.

Ora i tre colori capaci di sottrarre ciascuno dei tre colori fondamentali saranno necessariamente capaci di riflettere, o di trasmettere, gli altri due colori fondamentali. Si può perciò dire che:

il colore che sottrae il *rosso,* riflette o trasmette il *blu* e il *verde;*

il colore che sottrae il *verde,* riflette o trasmette il *rosso* e il *blu;*

il colore che sottrae il *blu,* riflette o trasmette il *rosso* e il *verde.*

Se ne deduce che i tre *colori fondamentali* dei sistemi sottrattivi sono quelli che riflettono o trasmettono i colori *non sottratti.* Essi saranno cioè:

1) il *blu-verdastro* (o turchese) vale a dire il verde più il blu, quando si sottrae il *rosso;*

2) il *porpora* (o magenta) vale a dire il rosso più il blu, quando si sottrae il *verde;*

3) il *giallo,* vale a dire il rosso più il verde, quando si sottrae il *blu.*

Abbiamo così confermato quanto avevamo più sopra descritto e dimostrato con ragionamento di carattere più strettamente teorico.

CENNI SULLA SENSITOMETRIA CROMATICA

Non è possibile, per i limiti che ci sono imposti dal carattere di questo lavoro, entrare in pieno in un argomento così complesso come quello della sensitometria dei colori. Tuttavia, data l'enorme importanza che questo settore della fotografia a colori ha nell'insieme delle questioni che c'interessano, riteniamo indispensabile dare almeno qualche cenno della materia, più che altro per consentire al lettore di formarsi un'idea approssimativa delle difficoltà rilevanti che si presentano quando, dalla semplice esposizione dei principi teorici, si passa agli studi concreti che devono condurre alle realizzazioni pratiche. E, poichè siamo in argomento, ci sembra utile richiamare l'attenzione, non solo degli studiosi, ma anche di coloro che hanno mansioni direttive, propulsive e orientatrici nel campo di tali ricerche, su queste difficoltà, perchè tutti possano rendersi conto che, in così delicata materia, gli accenni teorici generali a soluzioni di principio, non possono avere valore pratico se non sono corroborati da esperienze precise e metodiche, esperienze che rendono indispensabile la disponibilità di laboratori molto bene attrezzati e di mezzi finanziari adeguati.

FIG. 11. — *Curva caratteristica di un'emulsione sensibile*

Ciò premesso ritorniamo al nostro argomento.

La sensitometria può definirsi *la scienza che studia e stabilisce i rapporti fra la quantità e la composizione della luce che colpisce una emulsione sensibile e gli effetti fotochimici che essa produce.*

In altre parole, essa studia i rapporti fra le esposizioni E (prodotto $E = i.\ t.$, in cui i è l'intensità della luce e t la durata dell'esposizione) e gli annerimenti che, dopo lo sviluppo, si manifestano sulla lastra o sulla pellicola.

Nella sensitometria normale si studiano questi rapporti sulla base degli effetti prodotti dalla luce diurna o da quella normalmente usata nei teatri di posa (lampade nitra a incandescenza, lampade ad arco, a vapore di mercurio, ecc.).

È noto che, portando, in un sistema di coordinate cartesiane, nel quale le ascisse rappresentino i logaritmi delle esposizioni e le ordinate le densità degli annerimenti corrispondenti i valori successivi delle opacità in funzione delle esposizioni, si ottiene una curva, detta *caratteristica* di una determinata emulsione (v. fig. 11). L'andamento, la pendenza, ecc. di questa curva dipendono da molte circostanze, di cui le principali sono: l'emulsione, la qualità dello sviluppatore, la durata dello sviluppo e la sua temperatura. Ma, se noi, invece di servirci di luce bianca ci serviamo di una luce filtrata attraverso uno schermo colorato (come nel caso della fotografia a colori) è evidente che l'andamento e la posizione della curva dovranno subire notevoli modificazioni. Queste modificazioni dipendono anche dalla maggiore o minore sensibilità dell'emulsione al colore della luce filtrata.

È vero che oggi si hanno emulsioni la cui sensibilità generale è praticamente quasi uniforme per tutte le zone dello spettro, e cioè per tutti i colori (emulsioni pancromatiche e superpancromatiche); ma in cinematografia a colori occorre anche — come vedremo in seguito — avere emulsioni sensibili *soltanto* a determinati colori.

La resa esatta dei colori dipende, fra l'altro e in larga misura, dalla costante corrispondenza fra la quantità di luce (colorata) che giunge sul materiale sensibile e gli annerimenti corrispondenti, perchè questi annerimenti sono proprio l'elemento che, nei processi addittivi, dosano il colore corrispondente, e in quelli sottrattivi dosano il complementare. La costanza di questo rapporto è dunque condizione necessaria per ottenere buoni risultati, e rappresenta la soluzione di tutta una serie di complessi problemi di ordine sensitometrico.

La sensibilità di una emulsione può essere considerata sia nei suoi rapporti colla luce bianca (*sensibilità generale*) sia in quelli colle varie luci colorate (*sensibilità cromatica*). Per mezzo di sensibilizzatori speciali — che sono generalmente materie coloranti incorporate nell'emulsione — si può modificare, entro certi limiti, tanto l'una quanto l'altra di queste due sensibilità.

Nei sistemi a immagini multiple l'impiego di emulsioni pancromatiche è possibile e risponde perfettamente allo scopo perchè la sensibilità cromatica di questi materiali è fatta praticamente coincidere con

quella dell'occhio umano per le diverse zone dello spettro. Ma nei sistemi a selezione totale successiva, a immagine unica, la sensibilità dei vari strati dev'essere nettamente stabilita per determinati colori. In questo caso non basta che tale sensibilità sia genericamente limitata a questi colori, ma occorre che gli annerimenti corrispondenti siano tali da corrispondere — quantitativamente — alla sensibilità dell'occhio per quei colori.

I problemi delicatissimi della sensibilizzazione sono stati profondamente studiati dallo Sheppard, dal Lambert, dal Keenan, dal Carroll, dall'Hubbard in America, dal Lüppo-Cramer, dall'Eder, dal Luther e, più recentemente, dall'Heisemberg in Germania. Come sensibilizzatori sono generalmente usati il pinacianolo e l'eritrosina. Gli studi dell'Heisemberg, assai interessanti e decisivi in questo settore, hanno dimostrato che il sensibilizzatore, aggiunto all'emulsione sino a un certo quantitativo ottimo, viene quasi interamente assorbito dai granuli di bromuro d'argento, mentre pochissimo resta in sospensione nella gelatina.

Aumentando il quantitativo di sensibilizzatore oltre quello che dà la sensibilità massima, questa decresce. Questa diminuzione di sensibilità è dovuta in parte al maggior assorbimento luminoso per la presenza di maggior quantitativo di colorante, e in parte ad un vero e proprio regresso della sensibilità dei singoli granuli.

I sistemi di cinematografia a colori

La suddivisione generale in sistemi a sintesi additiva e a sintesi sottrattiva non è sufficiente alla classificazione dei numerosi metodi impiegati praticamente o comunque escogitati per la riproduzione animata a colori.

Non è facile raggruppare esattamente i vari sistemi, perchè essi hanno spesso elementi comuni appartenenti a diversi gruppi. Crediamo che un metodo di classificazione rispondente allo scopo possa essere basato sul modo di ottenere il colore sullo schermo, pur tenendo presente, come vedremo, il modo di ottenere i monocromi.

Da quanto abbiamo sinora esposto si può già dedurre che, qualunque sia il sistema che s'intenda seguire, il processo negativo consiste sempre nell'ottenimento dei tre monocromi selettivi. Questi monocromi possono essere ottenuti in tre modi distinti:

1) *per selezione cromatica parziale*, (immagini multiple);
2) *per selezione cromatica totale* o *successiva* (immagine unica);
3) *per scissione in immagini elementari*, o a *reticolo*.

Non ci occuperemo per il momento di quest'ultimo gruppo, che si riferisce ai sistemi a elementi policromi o lenticolari, di cui parleremo diffusamente in seguito.

La *selezione cromatica parziale* si ha quando si ottengono i monocromi, contemporanei o successivi, da tre immagini che cadono direttamente — previo filtraggio attraverso ciascuno dei tre filtri — sulla pellicola sensibile corrispondente.

La *selezione cromatica totale* o *successiva* (sistemi a immagine unica) si basa sul principio seguente.

Sopra un supporto (o anche su due o tre supporti trasparenti di diverso spessore) si dispongono tre strati sensibili, di cui quello più esterno è particolarmente sensibile ai raggi di onda corta (violetto o blu), quello intermedio è sensibile ai verdi, e l'ultimo è sensibile ai rossi. Questa diversa sensibilità può essere facilmente ottenuta, come è stato detto in precedenza, mediante sensibilizzatori agenti in modo selettivo.

La selezione cromatica per *scissione in immagini elementari*, o a *reticolo*, consiste nell'ottenere sul negativo unico, in ciascun punto di questo, un'immagine elementare scissa in tre parti, ciascuna delle quali rappresenta il monocromo elementare del punto corrispondente del soggetto.

Conglobando la classificazione dei sistemi secondo il modo di ottenere l'immagine colorata, abbiamo concretato la classificazione esposta nel quadro seguente, che ci sembra includere tutti i sistemi sinora noti. Ricorderemo ancora che si era anche convenuto di chiamare *fisici* i sistemi appartenenti al primo gruppo e *chimici* quelli appartenenti al secondo, e ciò perchè nei sistemi addittivi la colorazione ha luogo per via ottica o fisica, e nei sottrattivi per via chimica. Oggi questa distinzione non è più esatta, perchè, anche nei sistemi a sintesi sottrattiva, si possono usare processi di colorazione prettamente fisici (per es. le matrici).

QUADRO SINOTTICO DEI SISTEMI DI CINEMATOGRAFIA A COLORI

Sistemi con colorazione per filtri separati dall'immagine (ADDITTIVI).	a immagine multipla	
	a immagini elementari (*reticolo lenticolare*)	regolare
	a reticolo policromo	
	a elementi rifrangenti modulati (*stereotipo*)	irregolare

Sistemi con colorazione dell'immagine sul film (SOTTRATTIVI).	(a stampiglia)	
	per sbianchimento	del colorante sensibile
		del colorante all'argento
		e spogliamento dell'emulsione all'argento
	per colorazione	formazione del colorante
		al mordente
		viraggio
		indurimento della gelatina
		sviluppo colorante

I MONOCROMI

Sulla base di quanto abbiamo detto più sopra, esaminiamo ora i vari procedimenti impiegati per ottenere i monocromi, che costituiscono l'elemento fondamentale di ogni ripresa a colori. Non parliamo espressamente di processo *negativo* e di processo *positivo*, come si potrebbe essere tentati di fare, perchè in molti casi questi due processi non sono separati, ma fanno parte di un procedimento unico, che porta direttamente all'ottenimento dell'immagine colorata sullo schermo e sul film. È vero che, nel corso delle varie operazioni, ve ne sono sempre talune che possono essere considerate come facenti parte di un procedimento negativo, ed altre di un procedimento positivo, ma una separazione netta avrebbe più che altro un carattere scolastico e non porterebbe in molti casi che a rendere meno chiaro il procedimento complessivo.

Selezione cromatica parziale
(*Immagini multiple*)

Rappresenta il procedimento classico, e anche il più antico, per l'ottenimento dei monocromi. È usato nella sintesi addittiva, e, in parte, anche in quella sottrattiva.

Come abbiamo già notato, questo procedimento sembra, a prima vista, il più pratico e il più logico. Data la semplicità del procedimento teorico, gli sforzi degli inventori e dei costruttori si sono diretti sopratutto verso il modo di ottenere, sopra una sola pellicola di formato normale, i due o i tre monocromi occorrenti, in modo da evitare la necessità di ricorrere a formati diversi dal normale, con conseguenti gravissimi inconvenienti d'ordine pratico.

Altra necessità assoluta è che la velocità di passaggio del film nel proiettore non differisca da quella standardizzata per il film sonoro (24 fotogr. =456 mm. al secondo), ed anche in questo senso si è sbizzarrita la genialità degli inventori.

La tricromia, nei processi additivi a immagine multipla, ha incontrato notevoli ostacoli pratici, dovuti sopratutto alla difficoltà di ottenere sullo schermo una perfetta coincidenza dei monocromi. Questi monocromi sono infatti ottenuti, in genere, su film separati; e, quando sono ripresi sullo stesso film, devono poi essere riportati — sempre

però colle immagini separate — sopra un positivo di grandezza normale o maggiore della normale.

La distanza dei monocromi sul positivo può facilmente variare, sia pure di frazioni di millimetro, da punto a punto del film, o da un momento all'altro, per effetto di numerosi fattori fisici (umidità, temperatura, trazione, ecc.) che producono allungamenti o restringimenti del supporto; bastano queste minime variazioni per impedire la perfetta sovrapposizione delle immagini sullo schermo e causare intollerabili frangie cromatiche. Le difficoltà di sovrapposizione, già considerevoli per la bicromia, riescono naturalmente di molto accresciute per la tricromia. Per questi motivi i fautori di detti sistemi hanno sopratutto diretto i loro sforzi verso il miglioramento dei procedimenti addittivi bicromici.

In un primo tempo questi sforzi si orientarono verso il formato. Si trattava di ottenere sul film immagini quanto più grandi possibile, senza ricorrere — specialmente nella proiezione — a formati diversi dal normale. La preoccupazione della grandezza dell'immagine era allora sopratutto dovuta alla presenza di una grana piuttosto forte nel materiale negativo, grana che veniva poi riportata necessariamente anche sul positivo, (benchè questo possedesse un'emulsione assai più fine) e perciò anche sullo schermo, per effetto del necessario maggiore ingrandimento.

Si ebbero così numerosi sistemi addittivi, di cui si parlerà successivamente, inserendoli nei gruppi cui essi appartengono (V. Tav. III).

La selezione cromatica parziale può essere realizzata in diversi modi, che possono essere raggruppati come segue:

a) *mediante un solo obiettivo e passaggio successivo dei tre filtri; tre filtri;*

b) *mediante due o più obiettivi e fascio luminoso non ripartito;*

c) *mediante un solo obiettivo e fascio luminoso ripartito per mezzo di organi disposti fra l'obiettivo e il film;*

d) *mediante due o più obiettivi disposti dietro un sistema prismatico o speculare partitore.*

Nei sistemi appartenenti al primo gruppo la pellicola scorre dietro l'obiettivo presentando, una dopo l'altra, due (o tre, o più) porzioni successive all'immagine formata dall'obiettivo. Fra questo e la pellicola si può avere, per esempio, un otturatore rotante munito dei filtri e dei

settori di copertura. (V. fig. 12). La pellicola dovrà evidentemente spostarsi con velocità doppia (o tripla, o multipla) della normale, per ottenere nel tempo di scatto normale l'impressione di un gruppo di due (o tre) monocromi. Difetto essenziale di questo sistema è la *parallasse temporale*: le tre immagini non sono riprese contemporaneamente e, nei soggetti in moto, i loro contorni non possono essere identici e quindi portati a coincidere in un'unica immagine. Si producono perciò alla proiezione frangie cromatiche

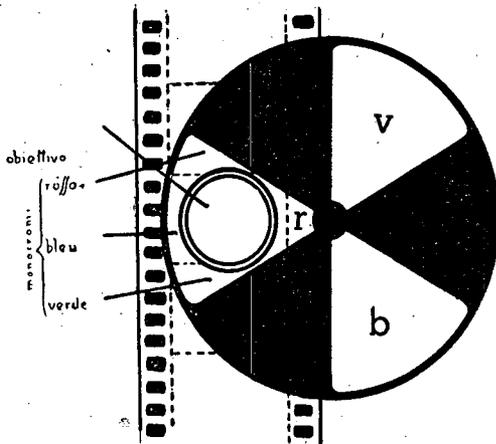



Fig. 12

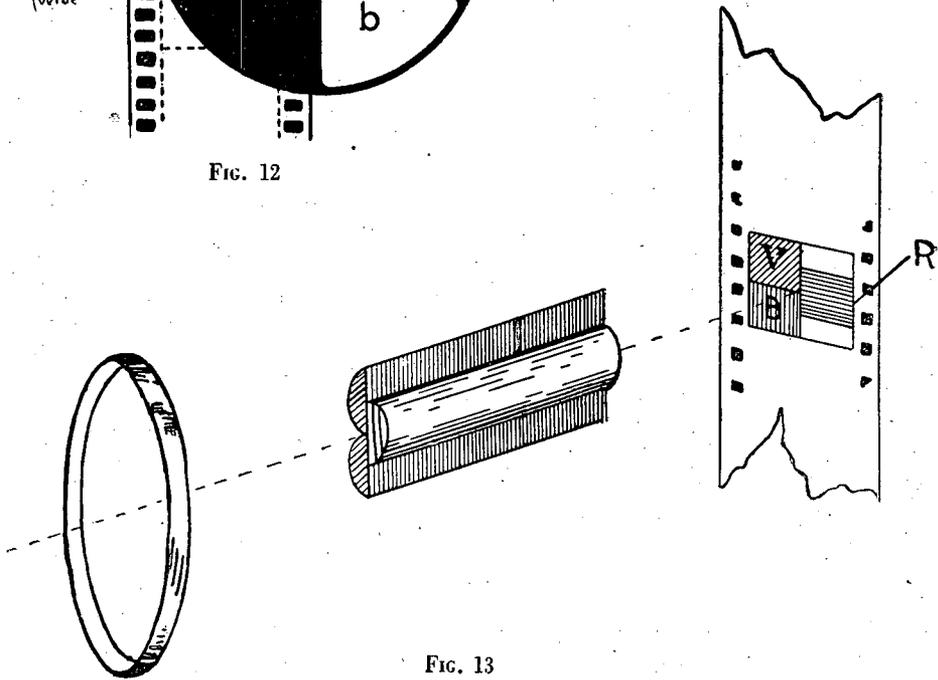



Fig. 13

che guastano l'effetto. Basterebbe un simile difetto per non rendere raccomandabile il sistema; ma questo presenta ancora altri inconvenienti di carattere meccanico, ottico e fotografico.

* * *

I sistemi di cui al gruppo *b*), vale a dire con due o tre obiettivi, dietro ciascuno dei quali è disposto uno dei tre filtri, presentano invece il grave difetto della *parallasse locale*, perchè le tre immagini sono

riprese da più punti diversi, anche se gli obiettivi essendo molto piccoli, gli assi ottici risultassero molto ravvicinati. Questa parallasse è anch'essa causa di mancanza d'identità nelle tre immagini e quindi d'impossibilità di farle coincidere. Le frangie cromatiche hanno però qui carattere più costante che non nel caso della parallasse temporale.

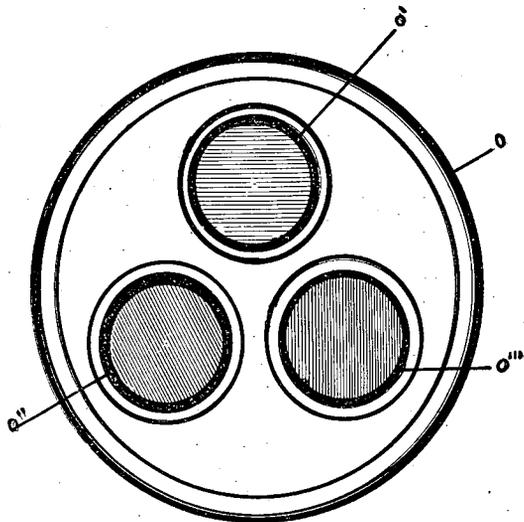
A questo stesso gruppo appartengono taluni sistemi nei quali la pluralità dell'immagine è ottenuta mediante due o tre obiettivi, sezionati e disposti, come in fig. 13, dietro un obbiettivo anteriore di lunghezza focale maggiore. Appartengono a questo gruppo il *Raycolor*, il *Francita* e il vecchio *Zoechrome*.

Nel sistema francese *Les procédés « 33 »* (v. fig. 14) sono stati disposti, dietro un obiettivo principale, tre obiettivi più piccoli, muniti ciascuno di un filtro colorato. I tre monocromi vengono così a risultare a triangolo, con dimensioni d'immagine di mm. 9×12. Dal negativo così ottenuto si stampa anzitutto un positivo, che viene poi riportato, ingrandito, su film a reticolo lenticolare, mediante tre operazioni successive di stampa ottica, in modo da riportare, sullo stesso fotogramma (normale), i tre monocromi. Si procede quindi allo sviluppo, per inversione, dàto che si è partiti da una copia positiva.

Fig. 14

Questo sistema, nella sua concezione, rappresenta un modo elegante di girare le difficoltà di stampa delle copie, proprio dei sistemi a elementi lenticolari, come vedremo più avanti.

Il sistema *Francita* è, in certo modo, derivato dal precedente (vedi fig. 15, Tav. IV). I tre monocromi sono ottenuti in modo analogo, solo ne è un po' variata la disposizione; per la proiezione non si fa più ricorso alla pellicola lenticolare, ma si procede per semplice sintesi addittiva, proiettando attraverso un sistema ottico analogo a quello di presa, munito di tre filtri colorati.

* * *

Il gruppo *c*) comprende numerosi sistemi adatti specialmente per la tricromia.

La fig. 16 rappresenta schematicamente il principio su cui si basano i sistemi appartenenti a questo gruppo. L'immagine formata dal-

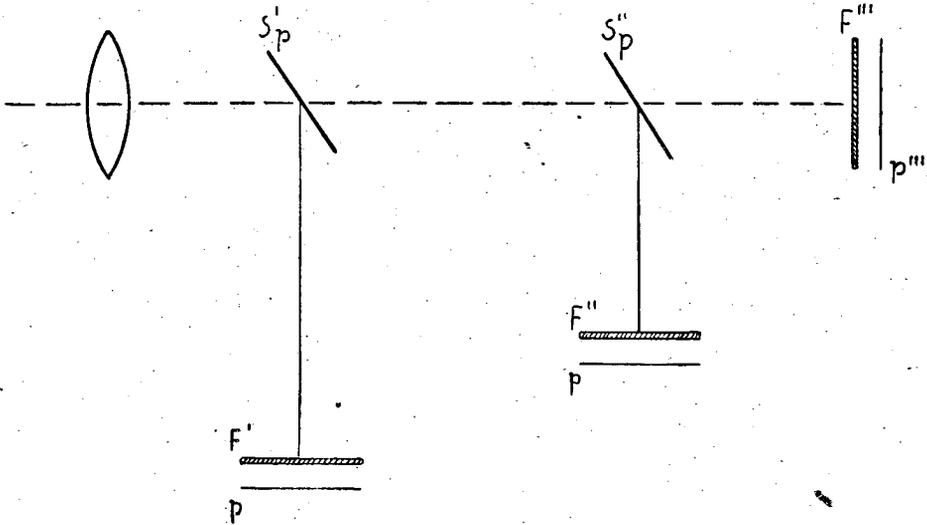



Fig. 16

l'obiettivo *O* viene proiettata sopra uno specchio *S'p* che è parzialmente riflettente e parzialmente trasparente. Una parte dei raggi vengono riflessi sul filtro *F'* e quindi sulla pellicola *p'*; il resto procede verso un secondo specchio *S''p* che riflette in parte sul secondo filtro *F''* e sulla pellicola *p''* e lascia passare la luce residua che procede verso il terzo filtro *F'''* e la pellicola *p'''*. Condizione essenziale affinchè le tre immagini sulle tre pellicole risultino di dimensioni identiche è che le distanze fra il centro ottico dell'obiettivo e le pellicole siano identiche. Si hanno però anche organi ottici che servono a compensare eventualmente la differenza fra le varie distanze. Generalmente gli specchi sono sostituiti da si-

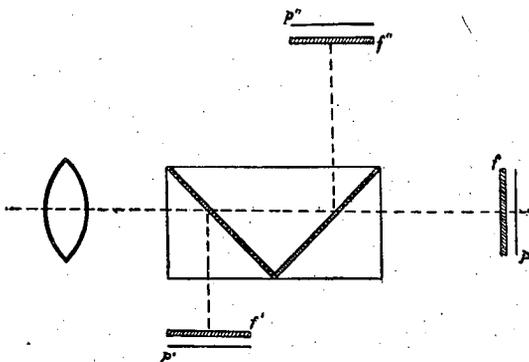



Fig. 17

stemi prismatici, come alle figure 17 e 18. Le superfici parzialmente specchianti devono naturalmente possedere caratteristiche ben determinate di trasparenza e di potere riflettente. Esse sono per lo più costituite da strati sottilissimi di argento o d'oro metallico disposti sulle ipotenuse dei prismi. In qualche caso si usa disporre, anzichè un sottile strato uniforme, un sistema di striscie specchianti alternate con striscie trasparenti, o anche una serie di fori regolari disposti sullo strato metallico riflettente.

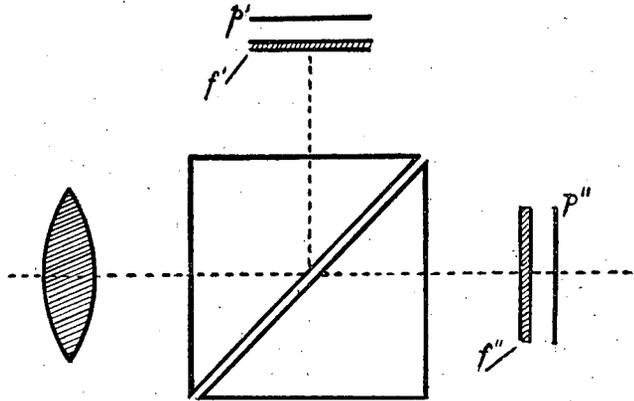



Fig. 18

A questo gruppo appartengono i sistemi bicromici con due finestre d'esposizione ad angolo retto e blocco prismatico parzialmente traspa-

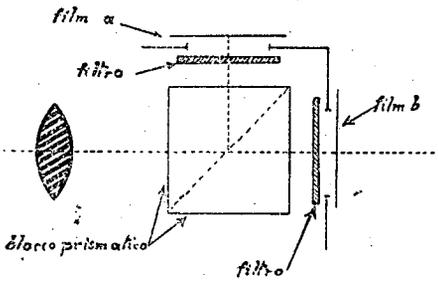
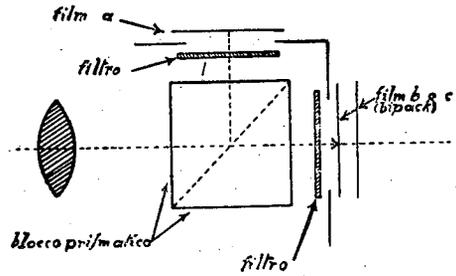



Fig. 19 Fig. 20

rente (v. fig. 19), nonchè i sistemi tricromici pure con due finestre ad angolo retto e blocco prismatico partitore, ma con « bipack » ad una finestra e terzo monocromo all'altra (v. fig. 20).

In taluni casi tra obiettivo e prisma è disposto un otturatore rotante munito di due filtri (v. fig. 21); in altri, invece, il sistema prismatico è sostituito da superfici riflettenti applicate ad uno (v. fig. 22) o due otturatori rotanti (sistema *Brewster*, v. fig. 23). Appartengono anche a questi gruppi taluni sistemi, assai complessi dal punto di vista ottico,

come il *Dufay-Cromex*, che presentano la caratteristica di dare una coppia d'immagini occupanti ciascuna metà del fotogramma normale, ma con l'asse verticale parallelo alla larghezza del film (v. fig. 24). Si noti che il sistema *Busch* ottiene lo stesso risultato, ma col mezzo assai più semplice di far scorrere il film orizzontalmente nella finestra di presa.

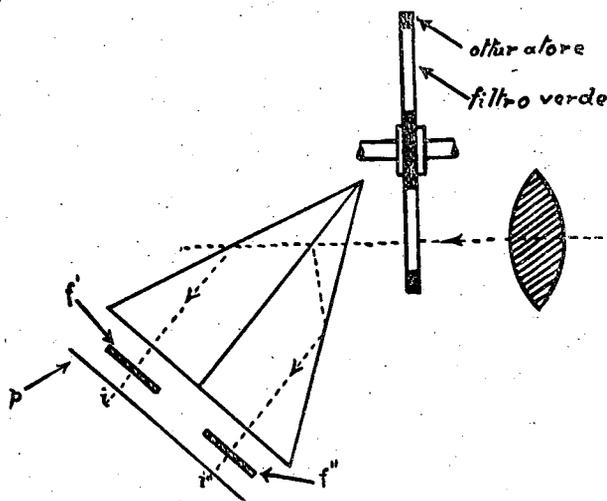
FIG. 21

Appartiene a questo gruppo anche il sistema italiano *Cicona*, dell'ing. Gualtierotti, che, in un primo tempo, si servì di una pellicola doppia, simile a quella dell'Audibert, ma munita di una fila di perforazioni di dimensioni speciali, allo scopo di compensare le eventuali deformazioni del supporto, e perciò di mantenere le coppie cromatiche sempre perfettamente registrate.

FIG. 22

Più tardi lo stesso Gualtierotti ebbe l'idea di ridurre per stampa ottica le coppie cromatiche, riportandole su film normale e di colorare direttamente il film, in corrispondenza di ciascun monocromo; per esempio in verde la metà destra del film e in rosso la metà sinistra. In questo modo si vengono ad eliminare i filtri di proiezione, non solo, ma si rende possibile variare anche entro certi limiti, la tonalità dei due colori

fondamentali, accordandole meglio colle tonalità dominanti del soggetto e migliorando così la resa cromatica. Si potrebbe anche (è questa un'idea che ci viene alla mente nel riflettere su questi problemi) preparare il film secondo questo sistema *Gualtierotti N. 2* e fare intervenire automaticamente — per esempio mediante un comando elettrico controllato da un intaglio laterale da farsi sulla pellicola nei punti adatti — uno o più filtri supplementari, in aggiunta ai due colori del film, in modo da meglio equilibrare le tinte, là dove questo equilibrio mancasse nella semplice sintesi bicromica.

Fig. 23

Altri sistemi appartenenti a questo gruppo sono il *Morgana*, americano, il *Bunning*, quello italiano *Casiraghi* e molti altri, tutti più o meno simili e praticamente equivalenti.

Alcuni costruttori, tra i quali va ricordato l'italiano Roncarolo, all'impiego di un solo obiettivo, preferiscono quello di tre obiettivi identici (gruppo *d*) prendenti l'immagine captata da un blocco prismatico anteriore, come è schematicamente rappresentato nella fig. 25. Questa disposizione offre il vantaggio di poter regolare in modo indipendente i dati ottici di presa di ciascun obiettivo, dando così la possibilità di regolare i rapporti fra le intensità di luce sulle tre pellicole, cosa utilissima ai fini del bilanciamento cromatico. Qualche difficoltà, invece, può essere causata dalla non perfetta identità delle tre lunghezze focali dei tre obiettivi, ciò che potrebbe causare qualche lieve differenza nelle dimensioni delle immagini. Analogo al precedente, ma senza blocco prismatico anteriore e con due

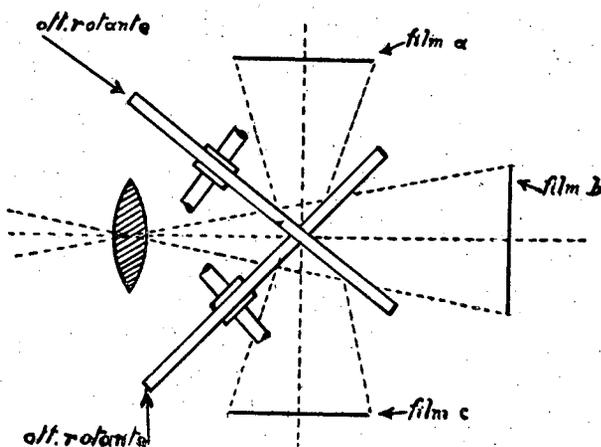
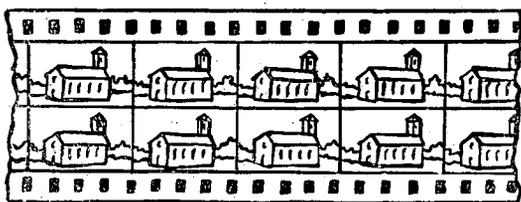



Fig. 24

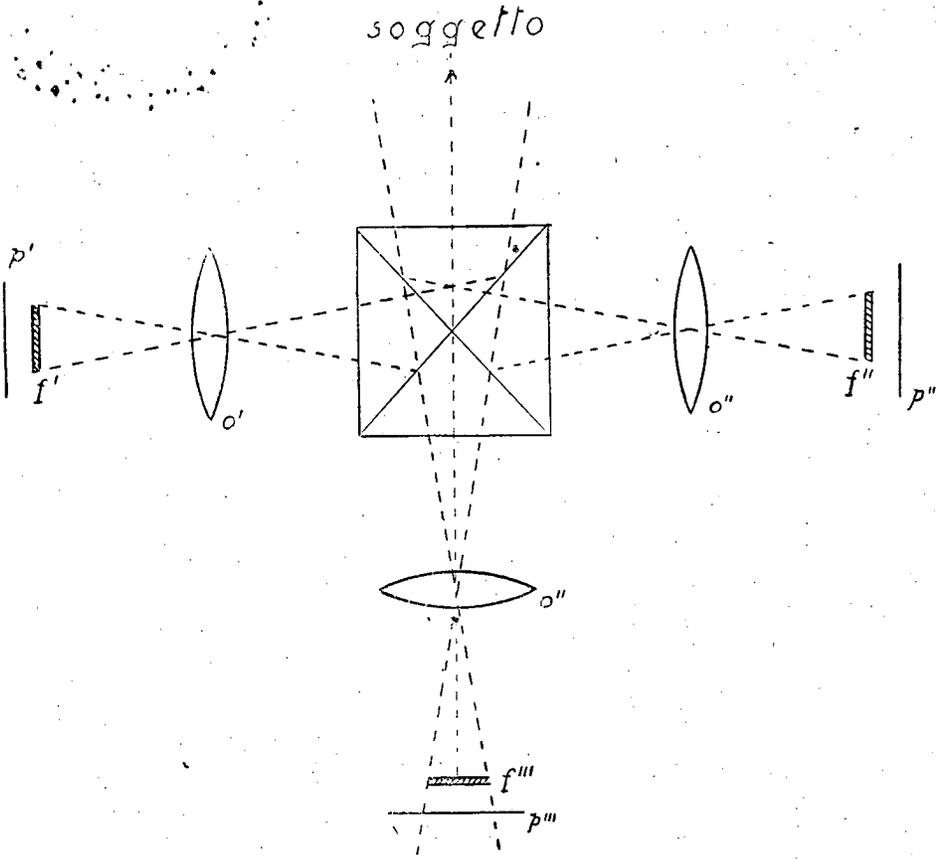



FIG. 25

soli obiettivi, è il sistema ideato dal *Cunningham*, e rappresentato in fig. 26. L'inconveniente principale dei sistemi a immagin multiple consiste nel notevole assorbimento luminoso causato dai mezzi ottici impiegati, assorbimento che si aggiunge alla normale diminuzione di luminosità delle singole immagini dovuta alla ripartizione dell'immagine data dall'obiettivo. Se a questo si aggiungono gli assorbimenti dovuti ai filtri colorati, si giunge ad una luminosità sull'emulsione veramente bassa. Questi inconvenienti hanno portato

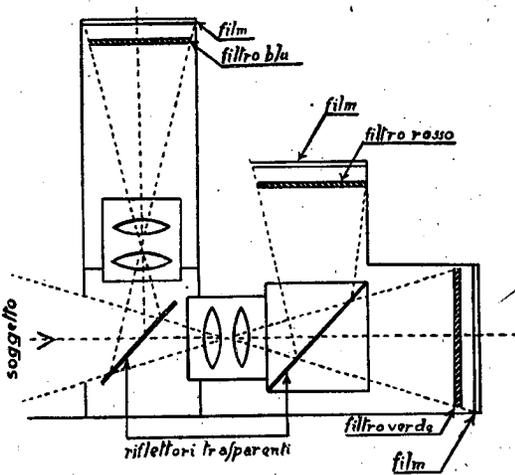



FIG. 26

con sè la necessità di accrescere notevolmente tanto l'illuminazione del soggetto quanto le sensibilità delle emulsioni.

Si potrebbero ancora ricordare altri metodi per ottenere le immagini multiple, quali quelli che si servono di due o più obiettivi disposti dietro a sistemi ottici negativi divergenti (*Audibert*) e quelli che si servono di due o più obiettivi disposti dietro a lastre di vetro inclinate, come il sistema del francese *Arnulf;* ma essi hanno avuto sinora pochissime applicazioni pratiche.

Selezione cromatica totale
(*Immagine unica*)

Abbiamo già dato, in precedenza, una definizione sommaria di questi sistemi, che fanno parte essenzialmente del gruppo sottrattivo. Rimandando a un capitolo successivo la descrizione particolareggiata dei vari procedimenti appartenenti a questo gruppo, ci limiteremo a ricordare qui che i monocromi sono ottenuti nei tre strati da un'immagine unica, filtrata successivamente dagli strati stessi.

Talvolta fra i vari strati vengono intercalati sottili filtri cromatici destinati ad accrescere la selettività delle emulsioni. È evidente che un negativo ottenuto con questo materiale sensibile è composto di tre immagini selettive separate e sovrapposte, la cui esattezza (dal punto di vista cromatico) e la cui nitidezza, dipendono da numerosi fattori ottici e fisici, (spessore, colore, trasparenza, sensibilità cromatica delle varie emulsioni, dei filtri — quando ci sono — del supporto intermedio — quando c'è — ecc.).

Quando gli strati sensibili vengono disposti su tre supporti separati (sistemi *tripack*) si ha necessariamente un difetto di nitidezza dei contorni, specialmente per l'ultimo strato; questo procedimento è perciò scartato per la cinematografia a colori, date le particolari esigenze di nitidezza richieste in tal caso.

I sistemi a selezione cromatica successiva sono applicabili alla cinematografia nei processi bicromici e in quelli tricromici; ma in questi ultimi si usano anche, come vedremo, sistemi misti (v. oltre). Pel processo bicromico si fanno scorrere nella macchina da presa due pellicole con gli strati sensibili uno contro l'altro (sistema *bipack*): la pellicola anteriore è sensibile al blù e al verde, quella posteriore al rosso. Spesse volte fra le due pellicole viene inserito un sottile filtro rosso,

perchè, generalmente, lo strato del secondo film non è sempre esclusivamente sensibile ai soli raggi rossi.

Il contatto fra i due film dev'essere il più perfetto possibile.

Nella cinematografia a colori con procedimento di presa totalmente sottrattivo (selezione cromatica totale) si tende ad impiegare o due pellicole, di cui una a doppio strato sensibile e l'altra a un solo strato sensibile, disposte a contatto; ovvero, in certi casi, anche una sola pellicola con tre strati sensibili. In quest'ultimo caso si presentano notevoli difficoltà nello sviluppo, per ottenere, nei tre strati, tre negativi selettivi sufficientemente intensi ed esattamente differenziati.

Ci occuperemo diffusamente in seguito di questi singoli sistemi; qui ci siamo limitati ad indicare il principio secondo il quale si ottengono, con essi, i monocromi selettivi.

Sistemi a reticolo
(*Immagini elementari*)

Resta ora ad accennare all'ultimo gruppo di sistemi per l'ottenimento dei monocromi: quello che abbiamo chiamato per *scissione in immagini elementari* o *a reticolo.*

Anche questi sistemi possono essere suddivisi in due sottogruppi:

a) *a reticolo colorato,*

b) *a reticolo ottico.*

Se dinnanzi ad uno strato sensibile si dispone un sottilissimo velo costituito da una miscela di minutissimi elementi trasparenti, colorati nei tre colori fondamentali e intimamente mescolati, si verrà ad avere dinnanzi a ciascun punto della superficie sensibile, una specie di minuscolo filtro tricromo. Se le caratteristiche del sistema (che sono principalmente la sufficiente piccolezza degli elementi colorati, la loro uniformità, la loro trasparenza, la loro distribuzione regolare e la mancanza di sovrapposizione) sono soddisfacenti, avverrà che per ogni punto del soggetto si otterrà sullo strato sensibile un'immagine triplamente selezionata. Così, ad esempio, un punto rosso, verrà a cadere sopra un triplice elemento giallo-blu-rosso, ma soltanto la particella di emulsione sensibile posta dietro l'elemento rosso resterà impressionata e si annerirà allo sviluppo.

Se si procede allora all'inversione del negativo, le parti situate sotto gli elementi giallo e blu del filtro elementare (che *non* erano state impressionate) si anneriranno, e, viceversa, la particella annerita dal negativo che si trova sotto il filtro rosso, diverrà trasparente. Guardando per trasparenza o proiettando il diapositivo così ottenuto, la luce bianca passerà solo attraverso all'elemento rosso del filtro, riproducendo il punto originale.

È questo il notissimo sistema delle lastre autocrome *Lumière*, applicato poi anche dalla Casa tedesca *Agfa*. Il Lumière impiega, per ottenere il velo filtrante, un'emulsione di elementi di fecola di patata, filtrata fisicamente (per ottenere l'uniformità dei grani), colorata e fortissimamente pressata contro l'emulsione sensibile.

Questo sistema presenta, dal punto di vista cinematografico, due notevoli difetti: 1° — la granulazione dovuta alla costituzione stessa del mosaico policromo; 2° — l'impossibilità di ottenere una serie di positivi, dato che l'unico positivo ottenibile è quello che si ha, per inversione, dal negativo originale. Non si può infatti ottenere — data la irregolarità della distribuzione degli elementi colorati costituenti il mosaico — una perfetta corrispondenza fra gli elementi colorati del negativo e quelli del positivo, così come sarebbe necessario per ottenere l'esatta resa dei colori originali.

Per ovviare a questo grave inconveniente si è pensato di sostituire il mosaico irregolare con un reticolato policromo regolare, in modo da poter ottenere, nella stampa, la necessaria corrispondenza (per esempio nei sistemi inglesi *Finlay* e *Spicer-Dufay*); ma i risultati pratici non furono troppo favorevoli.

Molto più interessanti, dal punto di vista cinematografico, sono i sistemi a *reticolato ottico*.

Questi sistemi si fondano sopra una geniale innovazione ideata dal Berthon nel 1908. La fig. 27, Tav. IV rappresenta schematicamente il principio del *Berthon*. Lo strato sensibile del film è disposto *dietro* al supporto trasparente, anzichè davanti, come normalmente, e sulla faccia anteriore del supporto viene stampato per pressione un reticolato regolare, costituito da una serie di piccolissimi elementi lenticolari. Dinanzi all'obiettivo (o fra gli elementi ottici che lo costituiscono), si dispone un filtro costituito da tre striscie parallele dei tre colori fondamentali rosso, verde e blu, in modo che la sua immagine si formi sul piano dell'emulsione sensibile. La presenza degli elementi lenticolari produrrà su questa emulsione e per ciascuno di tali elementi un'imma-

gine tricroma del filtro, che funzionerà per il punto sottostante dell'emulsione, da filtro elementare.

Così, la luce rossa riflessa da un punto rosso dell'oggetto verrà arrestata dalle parti blu e verde del filtro e l'emulsione sensibile verrà impressionata soltanto nell'elemento situato sotto al punto rosso del filtro tricromo elementare. Procedendo poi all'inversione e alla proiezione, per la quale s'impiega un filtro analogo a quello usato per la presa, e disposto analogamente nelle vicinanze o all'interno dell'obiettivo da proiezione, la luce bianca della lampada passerà soltanto per il punto corrispondente alla zona rossa del filtro elementare (ora diventato trasparente, mentre le altre due zone saranno diventate opache), e verrà così a riprodursi sullo schermo l'immagine colorata del punto originale.

Questo sistema offre enormi vantaggi, e in primo luogo una grande semplicità d'impiego. Le operazioni di presa e di sviluppo non differiscono da quelle normali per il film in bianco e nero, ed anche la proiezione non richiede che la semplice aggiunta, all'obiettivo, del filtro tricromo. Anche per quanto riguarda la proiezione del reticolo lenticolare, che potrebbe disturbare la nitidezza, l'ostacolo è superato, grazie alla grande finezza che si è potuta raggiungere. Il sistema *Berthon*, poi modificato e perfezionato, è attualmente applicato nella cinematografia a passo ridotto per dilettanti, nei procedimenti *Agfacolor* e *Kodacolor*, su film 16 mm.

La diffusione del sistema a reticolo lenticolare nella cinematografia spettacolare è stata ostacolata dalla difficoltà di poter ottenere le copie positive, nonchè dalla necessità di servirsi di sorgenti luminose per proiezione assai più potenti, dato che, per effetto della diffusione dovuta al reticolo e per il maggiore spessore dell'immagine d'argento, l'intensità luminosa occorrente è circa il decuplo di quella normale. Per quanto riguarda la stampa delle copie, qualche cosa di efficace è stato raggiunto in questi ultimi tempi dalla Società *Thomson-Houston,* dalla Società *Keller-Dorian* americana e dalla *Berthon-Siemens*, tedesca. Tuttavia sussistono ancora talune difficoltà che hanno sino ad oggi impedito l'affermarsi di questo geniale e interessante sistema.

Anche di questi sistemi e delle loro caratteristiche ci occuperemo diffusamente in seguito. Aggiungeremo ora ancora qualche cenno circa l'ottenimento dei monocromi mediante *sistemi misti.*

Non è necessario che i tre monocromi selezionati siano tutti ottenuti secondo uno stesso sistema. Anzi, combinando insieme diversi siste-

mi, è stato possibile riunire i vantaggi ed eliminare, almeno in parte, i difetti dei sistemi singoli.

Due esempi caratteristici di questi procedimenti misti sono dati dal *Bipack-lenticolare* (*Linsenrasterzweipack*) della Agfa, e dal notissimo *Technicolor* americano.

Nel *Bipack-lenticolare* (v. fig. 28) (Tav. IV) si hanno due film, uno a superficie lenticolare, con emulsione sensibile al verde e al blu, e l'altro piano, disposto dietro questo, con emulsione sensibile al rosso. Come si vede, la separazione dei blu e dei verdi dai rossi avviene secondo il sistema di selezione successiva ad immagine unica, mentre la separazione fra i blu e i verdi avviene secondo il principio del reticolato lenticolare. L'obiettivo è munito di un filtro, il quale dovrebbe essere composto di due striscie, una verde e una blu (perchè il film lenticolare è sensibile a questi due colori). Ma, siccome il secondo film deve ricevere il rosso, si è dovuto aggiungere del rosso tanto al verde quanto al blu, ciò che dà (sottrattivamente) un giallo e un porpora. Ecco perchè il filtro ha tre striscie: due gialle laterali e una porpora centrale. Il film lenticolare, sensibile solo al verde e al blu, *non vede* i raggi rossi lasciati passare da questo filtro, che sono invece visti dal secondo film. Si ottengono così le tre immagini selettive: due (corrispondenti al blu e al verde) sul film lenticolare e l'altra (corrispondente al rosso) sul secondo film piano.

Vedremo in seguito come si possano ottenere i positivi colorati in questo sistema.

Un altro sistema a procedimento misto è, come dicemmo, il *Technicolor*. La fig. 29 (Tav. IV) rappresenta schematicamente il procedimento di presa del *Technicolor*. Il sistema prismatico situato dietro l'obiettivo è in parte riflettente e in parte trasparente. Il monocromo verde è ottenuto filtrando l'immagine che traversa direttamente il sistema prismatico; per i due monocromi blu e rosso il procedimento è del tipo *bipack;* un filtro porpora (blu più rosso) lascia giungere sopra un bipack sensibile anteriormente al blu e sotto al rosso, questi due colori.

Anche per questo sistema vedremo in seguito quale sia il procedimento adottato per ottenere il positivo.

È da notare che, nel sistema *Technicolor* recentemente perfezionato (*improved Technicolor*) si ottengono, sempre con sistema misto (immagini multiple e immagine unica) tre selezioni: una verde, una blu, una rossa, ma che, nella stampa, si aggiunge un quarto monocromo di leggero colore grigio neutro, destinato a dare, convenientemente dosato, un maggior corpo all'immagine.

Bisognerebbe ora parlare del procedimento cosiddetto *stereotipico*, a elementi lenticolari rifrangenti. Questo procedimento è stato seguito nel sistema ideato dagli italiani *Bocca e Rudatis* e si differenzia sostanzialmente da tutti gli altri sinora escogitati nel campo della cinematografia. Esso forma oggetto di un capitolo separato, ed a quello rinviamo il lettore.

I SISTEMI SOTTRATTIVI

Per questi sistemi i problemi essenziali sono quelli che si riferiscono alla *colorazione* e alla *sovrapposizione* dei monocromi.

Circa la colorazione ci riferiamo ora al quadro sinottico riprodotto alla pag. 27, e parleremo successivamente dei vari procedimenti.

STAMPIGLIATURA O TAMPONATURA

Questi procedimenti primitivi, semimanuali e laboriosissimi, hanno preceduto i sistemi di colorazione automatica, per via chimica o per via fisica.

Sono stati impiegati procedimenti nei quali, dopo aver stampato un positivo per ogni monocromo, si ritagliavano tali positivi trasformandoli in maschere vuote nei punti corrispondenti all'annerimento di un dato colore. Queste maschere venivano poi usate per tamponare, nei punti corrispondenti e col colore adatto, un positivo stampato leggermente, colorando così il positivo stesso. L'operazione veniva ripetuta tante volte quanti erano i monocromi. Questo procedimento è stato seguito dalla Casa Pathé per il suo sistema *Pathé-chrome*.

Altro procedimento analogo, usato negli Stati Uniti e diffuso specialmente per opera dell'incisore Max Handschiegl, di St. Louis, consisteva in una operazione similare per la preparazione di monocromi incisi a mano su gelatina. Questi monocromi non avevano perforazione e la messa a punto per la sovrapposizione esatta era fatta per mezzo di un controllo micrometrico direttamente sull'immagine positiva da colorare.

Si tratta, come si vede, di sistemi primitivi, che richiedono un lavoro enorme e paziente e che, per quanto precisi, non possono dare che risultati imperfetti e poco soddisfacenti.

Sistemi al colorante sensibile

In questi sistemi le materie coloranti o i componenti dei colori sono già contenuti negli strati disposti nel film o sui film e l'esposizione alla luce durante il procedimento di stampa serve ad eliminare (o a sbiancare) la materia colorante nei punti corrispondenti, effetto che può ottenersi o direttamente, o indirettamente mediante l'immagine di argento liberato durante l'esposizione.

Il principio di questo procedimento è stato descritto sino dal 1889 dal Liesegang. È noto che, se si mescolano tre materie coloranti aventi i colori giallo, porpora e verde-bluastro, e le cui zone di assorbimento corrispondano ai tre colori fondamentali (blu, verde, e rosso), si ottiene una miscela nera. Se poi si scelgono materie coloranti che, inoltre, si scolorano sotto l'azione dei raggi della loro zona d'assorbimento, avverrà che il *colore residuo della miscela sarà quello dei raggi che la colpiscono.* Infatti, per esempio, sotto l'azione del rosso scomparirà, dal nero, il verde-bluastro (la cui zona d'assorbimento è il rosso), e resteranno il giallo più il porpora, che dànno notoriamente il rosso.

È stato possibile così ideare un processo a colori diretto, su carta (*Utocolor*, 1911) che dà, teoricamente almeno, gli stessi colori dell'immagine colorata che colpisce la miscela sensibile.

È però molto difficile ottenere una sufficiente sensibilità delle materie stesse, nonchè un sistema di fissaggio che, mentre renda insensibile alla luce le materie non sbiancate, non ne alteri il colore.

Sistemi per decolorazione all'argento

Più pratico e più importante è il processo per *decolorazione all'argento.*

Si tratta di un procedimento nel quale il film positivo presenta due o tre strati disposti per lo più uno da una parte e gli altri due dall'altra del supporto trasparente. Gli strati sensibili, oltre ai sali sensibili d'argento, contengono anche il materiale colorante o i suoi componenti.

In questo caso i fenomeni di assorbimento luminoso e di sbianchimento sono separati, contrariamente a quanto avveniva nei sistemi del gruppo precedente. Non è pertanto più possibile mescolare le tre materie coloranti in un solo strato di emulsione, ma occorre separarle in tre

strati diversi, curando che le zone di assorbimento spettrale dei coloranti siano identiche a quelle per cui è stata sensibilizzata, in ciascun strato, l'emulsione sensibile dei sali d'argento.

Il principio chimico che presiede a questo procedimento può essere così esposto: dopo l'esposizione l'immagine latente viene sviluppata, e quindi, mediante bagni appropriati, la materia colorante viene eliminata là dove si trova l'argento ridotto dell'immagine. (In qualche caso, prima di questo bagno occorre procedere alla trasmutazione dei componenti della materia colorante in materia colorante).

Abbiamo già detto che, in questi sistemi, i tre strati sensibili vengono generalmente disposti da ambo i lati del supporto: due da una parte e due dall'altra. Dei due strati sovrapposti l'esterno è sensibile al verde ed è colorato in rosso; il sottostante, invece è sensibilizzato per il rosso e colorato in porpora. Il terzo strato, dall'altro lato del supporto, è sensibile al blu. Questo sistema, ideato dal Christensen, è usato per il *Tripo-Film* dell'Agfa (v. fig. 30).

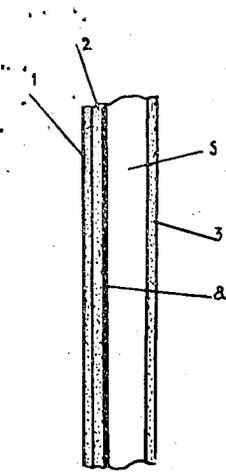
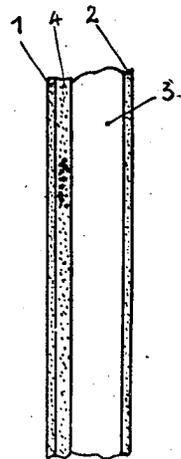



Fig. 30 — *Tripo-Film Agfa*

Fig. 31. — *Film Gasparcolor*

Le ricerche di coloranti adatti furono lunghissime e assai laboriose. Vennero esaminate, dal 1927 al 1934, non meno di mille sostanze coloranti, di cui solo pochissime risultarono adatte, perchè, in generale esse, pure scolorandosi, lasciavano ancora residui colorati. Dopo l'esposizione, nella quale i tre negativi selettivi vengono automaticamente stampati — grazie al predisposto filtraggio — ciascuno nello strato corrispondente (e precisamente, cioè, la selezione rossa nello strato verde-blu, quella verde nello strato porpora e quella blu nello strato giallo), si procede allo sviluppo e allo sbianchimento del colorante. Le soluzioni impiegate disciolgono il materiale colorante soltanto quando si trovano in presenza d'argento, e cioè solo nei punti impressionati. Si tratta in generale di soluzioni acide di bromuro o joduro di potassio, o anche di urea.

Appartiene a questo tipo anche il sistema *Gasparcolor*, noto specialmente in Germania, dov'è impiegato soprattutto per film reclamistici e per disegni animati (v. fig. 31).

Tuttavia questo sistema, ottimo sotto il punto di vista della resa dei colori, si è dimostrato utilizzabile soltanto per il processo positivo, e, come dicemmo, per i disegni animati, e ciò a causa della sua limitata sensibilità.

Allo scopo di eliminare questa difficoltà, pure conservando i vantaggi propri dei sistemi per sbianchimento all'argento, è stato ideato, come procedimento negativo il sistema misto detto *Bipack lenticolare*, al quale abbiamo accennato in precedenza, ma il cui processo positivo sarà illustrato in seguito.

Sistemi per spogliamento dell'emulsione d'argento

L'eliminazione della materia colorante nei punti in cui essa non deve più trovarsi può ottenersi, oltre che mediante sbianchimento, così come abbiamo visto nei precedenti processi, in modi diversi, come, per esempio, mediante spogliamento dell'emulsione contenente, oltre al materiale colorante, anche il sale d'argento.

Questi sistemi si basano sul fatto che l'acqua ossigenata, specie se contenente soluzioni acide di sali alogeni di rame, ha la proprietà di disciogliere la gelatina emulsionata nei punti contenenti l'argento. Eliminata così — in determinati punti — la gelatina colorata, resta nel film un'immagine di colore nei punti rimasti inalterati.

Passiamo ora ai processi detti *per colorazione*, vale a dire quei processi nei quali la colorazione avviene per via chimica, durante le operazioni di trattamento.

Sistemi con formazione del colorante

I sistemi di questo sottogruppo sono caratterizzati dal fatto che le materie coloranti, che dovranno poi costituire l'immagine, si formano durante il processo positivo.

Abbiamo visto come si possa utilizzare lo sbianchimento di materie colorate sotto l'azione della luce; in modo analogo è possibile ottenere — sotto la stessa azione — la formazione di materie colorate da componenti incolori. Taluni derivati dell'indaco possono assumere, a seconda della illuminazione alla quale vengono sottoposti, bellissime colorazioni gialle, porpora o azzurro-verdastre. Tuttavia questo procedimento non è ancora stato applicato in pratica.

Sistemi al viraggio

Assai più semplici e noti da lungo tempo sono i procedimenti di *viraggio*. L'argento liberato nel processo di sviluppo può essere facilmente trasformato in sali di uranio di color rosso-bruno o in sali di ferro di color blu di Prussia. Il sistema americano *Multicolor* è un sistema bicromico, usato per qualche tempo anche in Germania dalla Ufa, (*Ufacolor*) basato appunto sul viraggio dei sali d'argento. Mediante un procedimento negativo *bipack* (due pellicole scorrenti insieme, gelatina contro gelatina), si riprendono due negativi selettivi: uno arancione e l'altro verde-azzurro, che si stampano poi sopra un positivo *dipo* o *sandwich*, vale a dire sopra una pellicola avente due emulsioni positive, disposte ai due lati del supporto. Le immagini positive sviluppate vengono poi virate rispettivamente in blu di Prussia e in rosso all'uranio.

La Agfa, per il suo procedimento *bipack*, nel quale la colorazione del positivo *dipo* viene fatta per viraggio, consiglia di procedere nel modo seguente:

a) *Viraggio blu.* — Si preparano i tre bagni seguenti:

1.	Ferricianuro di potassio	gr.	10
	Soluzione 1 % di bicromato di potassio . .	cmc.	1,3
	Acqua	cmc.	1000
2.	Allume di ferro ammoniacale	gr.	10,6
	Acqua	cmc.	500
3.	Acido ossalico	gr.	12,5
	Acqua	cmc.	500

Si mescolano 1 parte del bagno 1° con 1 parte del bagno 2° e 1 parte del bagno 3°, evitando la luce del giorno. Il film viene virato, da una sola parte, durante 5 minuti circa, alla luce artificiale. Quindi si lava in acqua, dalle due parti.

Si passa poi al viraggio all'uranio per l'altra faccia del film. Questo viraggio è costituito da una miscela in parti uguali delle due soluzioni seguenti:

I			II		
Nitrato d'uranio .	gr.	100	Ossalato di potassio	gr.	40
Acido cloridrico .	cmc.	100	Ferricianuro di K.	gr.	30
Acqua	litri	6	Acqua	litri	6

Il bagno di viraggio dura circa 5 minuti. Segue un lavaggio per 10 minuti, e quindi un bagno di colorazione costituito da:

60 parti di soluzione ½ % di giallo per imbibizione,
40 parti di soluzione ½ % di rosso per imbibizione,
1 parte di acido acetico glaciale.

Durata del bagno: 30 secondi. Segue un'immersione in una soluzione al 2 % di acido acetico, poi un fissaggio (3 minuti) in un bagno di fissaggio al 5 % e infine un ultimo lavaggio per 15 minuti.

Si può anche combinare il viraggio blu al ferro con un viraggio al mordente dall'altra parte. In questo caso il film, dopo il viraggio blu, viene fissato in bagno di fissaggio neutro al 5 %, quindi lavato a fondo e poi immerso nel bagno al mordente, costituito da una miscela in parti uguali delle due soluzioni seguenti:

I			II		
Solfato di rame . .	gr.	240	Rodanide di K. . .	gr.	110
Acqua	cmc.	2400	Citrato di K. . .	gr.	500
Acido acetico glac. .	cmc.	180	Acqua	cmc.	2400

Il film viene immerso in questo bagno, d'ambo le parti, per 8 minuti. Dopo un lavaggio per 10 minuti si procede al bagno di viraggio all'uranio (da una parte sola), passando poi in una soluzione al 2 % di acido acetico glaciale per 3 minuti e quindi lavaggio definitivo.

Grande importanza ha, per questi sistemi, la scelta di un conveniente gamma (fattore di contrasto) pei negativi dei due monocromi, nonchè di annerimenti adatti per gli strati positivi del *dipo* da sottoporre alle operazioni di viraggio.

Questo sistema, benchè soltantò bicromico, ha dato risultati abbastanza buoni; ma la ricchezza della sua tavolozza non è più sufficiente per le odierne esigenze.

Processi al mordente

Come è noto, la mordenzatura è un processo chimico avente lo scopo di fissare una materia colorante ad una sostanza per la quale tale materia non ha affinità, e ciò mediante una seconda sostanza che ha affinità tanto per la materia colorante quanto per la sostanza alla quale dev'essere fissata.

In fotografia o cinematografia a colori la mordenzatura ha lo scopo di sostituire in tutto o in parte un'immagine d'argento con una sostanza capace di fissare le materie coloranti.

Tra i mordenti più noti in fotografia, vale a dire tra le sostanze che meglio possono fissare i coloranti basici, sono da ricordare il ferrocianuro d'argento e lo joduro d'argento.

Nei processi al mordente si procede perciò prima alla trasformazione dell'argento liberato in una delle due predette sostanze, e si passa poi alla mordenzatura del colorante.

Si hanno esempi di realizzazione pratica di processi al mordente. Tra gli altri vanno ricordati il sistema bicromico *Colorcraft* (americano) e il sistema belga e francese *Dascolour*, pure bicromico.

Nel *Dascolour* la ripresa è fatta con materiale *bipack* in una macchina speciale costruita dalla Casa Debrie di Parigi. Il procedimento positivo è il seguente.

Si stampa, sopra un positivo normale, uno dei due monocromi, e precisamente quello rosso-arancio; il film viene poi sviluppato e fissato come al solito. Dopodichè questo positivo viene risensibilizzato con una soluzione di cloruro di ferro contenente acido ossalico e in seguito asciugato. Quindi si procede alla stampa del secondo monocromo, verde-azzurro; dopo sviluppo al ferrocianuro di potassio, il film viene lavato e immerso in una soluzione di ioduro di potassio e infine passato in un bagno colorante e per ultimo lavato con acqua acidulata. La seconda immagine può essere anche stampata da un positivo e sviluppata al ferrocianuro di potassio. Oltre al cloruro di ferro possono anche essere usati l'ossalato, il tartrato o il citrato di ferro.

Questo procedimento, che può essere trasformato in tricromia mediante la stampa per matrice di un terzo monocromo, può dare risultati soddisfacenti, ma presenta il grave difetto, proprio del sistema, che la quantità di colorante assorbita non è proporzionale alla quantità di argento costituente l'immagine e perciò alla densità della immagine, ciò che è spesso causa di forti errori di rendimento cromatico.

Processi per imbibizione o spogliamento della gelatina

Questi processi, che potrebbero anche chiamarsi per indurimento o per insolubilizzazione della gelatina, hanno forte analogia coi noti processi alla gelatina bicromatata, molto usati in fotografia e nelle arti fotomeccaniche a colori.

È noto che una gelatina al bicromato diventa insolubile nell'acqua calda nei punti nei quali essa è colpita dalla luce. È noto pure che tale gelatina, colpita dalla luce, non è più in grado di assorbire soluzioni acquose colorate, e che l'assorbimento è tanto minore quanto maggiore è stata l'esposizione alla luce del punto considerato.

Per ottenere immagini colorate con questo procedimento si possono seguire due vie:

a) *per imbibizione*, immergendo il film alla gelatina bicromatata, dopo l'esposizione, in una soluzione colorata;

b) *per spogliamento*, immergendo il film in acqua calda.

Nel primo caso le parti non colpite dalla luce assorbono il liquido colorante, e quelle colpite dalla luce ne assorbono tanto meno quanto più sono esposte e cioè indurite. Si avrà così un'immagine *positiva* del positivo stampato.

Nel secondo caso, invece, avviene che le parti non colpite dalla luce si spogliano, cioè si disciolgono nell'acqua calda; le altre, insolubili, restano. Si otterrà così una matrice in controtipo: negativo, se si è stampato un positivo, e viceversa.

Ma non sempre è necessario ricorrere alla gelatina bicromatata; esiste un altro fenomeno di cui ci si serve nei sistemi di colorazione per indurimento o spogliazione della gelatina, ed è quello che si applica anche in fotografia e che si è conosciuto sotto il nome di processo al *bromolio*.

Questo procedimento è stato anche proposto, nei suoi recenti e interessanti lavori, dal noto studioso italiano di questi problemi, Roncarolo.

È noto che la gelatina di una emulsione fotografica, nelle immediate vicinanze dell'argento ridotto dopo lo sviluppo, ma ottenuto con determinati sviluppatori, come, per esempio, l'acido pirogallico, la pirocatechina in soluzione alcalina e senza aggiunta di solfito, che lasciano facilmente depositi di ossidazione, ovvero anche nelle stesse vicinanze delle parti di argento dopo un trattamento al bicromato di ammonio, si indurisce sino a diventare insolubile nell'acqua calda, mentre le altre parti possono essere spogliate.

Trattando la gelatina così parzialmente indurita di un *positivo* con acqua calda, si ottiene un'immagine in rilievo, che, imbibita di colorante speciale, può servire come matrice per la stampa per pressione dell'immagine sopra una pellicola a gelatina trasparente.

Ma si può anche trasformare in matrice direttamente il negativo monocromatico, mediante il procedimento seguente. Dopo aver trattato

il negativo, anche se non ottenuto con uno degli sviluppatori sopra indicati, con bicromato di ammonio ed averlo fatto essiccare, lo si espone alla luce dalla parte del *supporto trasparente.* In questo caso restano insolubilizzati i bianchi, perchè la gelatina bicromatata posta in corrispondenza dei neri resta protetta dallo strato d'argento. Dopo lavaggio, si elimina l'argento con uno dei soliti bagni di sbianchimento e quindi si procede allo spogliamento in acqua calda. Il negativo si trasforma così in matrice positiva. Si usano molto, per la colorazione delle matrici, colori acidi alla cellulosa o alla nitrocellulosa. Tuttavia, anche questi procedimenti, assai semplici in teoria e di facile applicazione pratica quando si tratta di lavorazioni fotografiche, si sono dimostrati insufficienti, almeno nella loro attuazione normale, quando si è trattato di applicarli alla cinematografia a colori.

Il difetto più grave delle matrici, o dei monocromi ottenuti con questi sistemi, è che la loro superficie risulta irregolare, rugosa, solcata da strie che, rinchiudendo nei loro interstizi maggiori o minori quantità di materia colorante, producono imperfezioni d'immagine facilmente visibili sotto il forte ingrandimento della proiezione.

I tecnici del *Technicolor,* che, come abbiamo detto, seguono questo procedimento, hanno minuziosamente studiato questi sistemi alla gelatina e li hanno notevolmente perfezionati. Crediamo utile dare qui un breve cenno del più importante fra questi perfezionamenti, che forma oggetto del brevetto inglese n. 392.785.

Scopo dell'invenzione è l'ottenimento di una matrice in rilievo nella quale gli elementi formanti l'immagine sono costituiti da gelatina capace di assorbire il colore, incorporati in un complesso di gelatina poco capace di assorbire il colore; la matrice viene ad avere press'a poco lo stesso spessore in tutti i punti del rilievo e la superficie ne è molto liscia ed uniforme. Tale matrice risulta assolutamente perfetta dopo la colorazione.

Il procedimento consiste nello sviluppare l'emulsione con uno dei noti sviluppatori che induriscono la gelatina, come abbiamo detto più sopra, e nel sottoporre poi il film sviluppato a un processo di ossidazione rigidamente controllato, mediante lavaggio in acqua molto aerata, o anche per mezzo di prodotti ossidanti, come il ferrocianuro o il bicromato di potassio.

In questo modo lo sviluppatore non decomposto durante il processo rivelatore si ossida, provocando la formazione di una gelatina che assorbe difficilmente il colore e che circonda le particelle d'argento. Fatto

questo, si passa allo spogliamento, vale a dire al lavaggio in acqua a circa 55° C., mediante il quale la gelatina non collegata all'immagine d'argento viene eliminata.

L'esame microscopico ha dimostrato che, grazie a questo processo di ossidazione del pirogallolo, si viene a formare, nella gelatina, una specie di tessuto cellulare del tipo rappresentato nella fig. 32, costituito da una sostanza bruna, che assorbe molto difficilmente il colore. Nella

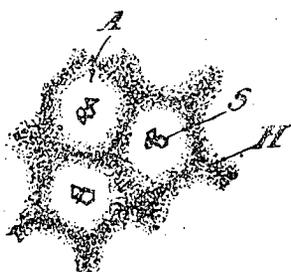



FIG. 32

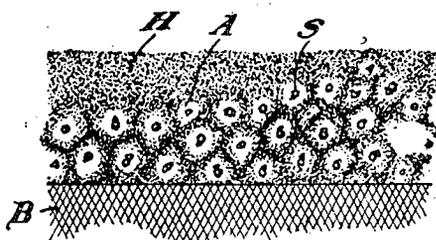



FIG. 33

gelatina contenente granuli di argento sviluppati, questo tessuto tende a racchiudere i gruppi di granuli, in modo che ciascuno di questi gruppi viene a trovarsi al centro di una cellula di gelatina, che, per effetto dell'ossidazione dello sviluppatore, non assorbe che assai difficilmente il colore. La massa di gelatina che non assorbe il colore, ma che è solubile in acqua calda, risulta essere all'incirca inversamente proporzionale alla quantità di gelatina che assorbe il colore e che è insolubile. Ne

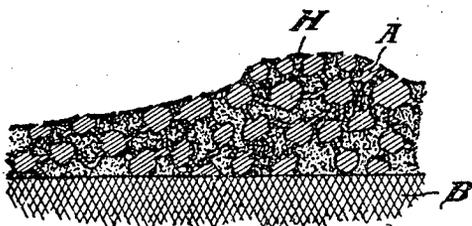



FIG. 34

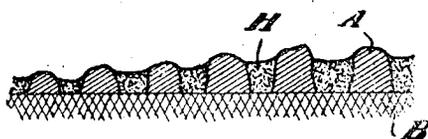



FIG. 35

risulta che il rilievo ottenibile con questo procedimento è molto liscio, benchè il suo spessore varii in funzione delle densità dell'immagine d'argento.

Le figure 33 e 34 mostrano schematicamente come si svolge il processo. Nella fig. 33 *H* indica il reticolo di gelatina poco assorbente, che circonda le parti *A* costituite di gelatina assorbente, mentre *S* rappre-

senta i nuclei di argento ridotto. Nella fig. 34 le notazioni sono le stesse: essa rappresenta una sezione ingrandita del film, *B* è il supporto di celluloide. L'esposizione, si è detto, ha avuto luogo dalla parte della celluloide. Nella fig. 34 è rappresentato il risultato che si ottiene mediante lo sbianchimento e lo spogliamento. L'argento è stato eliminato, e la parte di gelatina non legata all'immagine (parte *H* non assorbente il colore, ma solubile) si è spogliata. È restata invece la parte *H* occlusa fra le particelle *A*, costituite di gelatina assorbente ma insolubile. Nelle parti poco annerite dell'immagine il residuo, dopo lo spogliamento, è indicato dalla fig. 35.

Come si vede, il risultato di questo procedimento è l'ottenimento di una matrice molto liscia, uniformemente costituita da una gelatina finissimamente spugnosa, che dà ottimi risultati alla colorazione e alla stampa per pressione.

In pratica si procede nel modo seguente: si espone il materiale positivo sotto il monocromo negativo, dalla parte del supporto, e si sviluppa per 3 minuti e mezzo, alla temperatura di 18 C. nel bagno seguente:

Pirogallolo	15 %
Soda caustica	30 %
Cloruro di ammonio	15 %
Bromuro di potassio	15 %
Acido citrico	12 %

(La formola di questo sviluppo è brevettata agli S. U. da L. T. Troland, col brevetto n. 1.535.700).

Dopo lo sviluppo, il film viene immerso in un recipiente nel quale l'acqua circola in modo da essere intieramente rinnovata in dieci minuti. L'ossigeno dell'aria disciolta nell'acqua produce l'effetto di ossidazione sul quale si basa il procedimento: variando convenientemente il potere ossidante dell'acqua variano i risultati. Il potere ossidante può essere variato sia mantenendo in forte movimento l'acqua, sia insufflandovi dell'aria; tuttavia i risultati migliori sono stati ottenuti nel modo suddetto. La temperatura dell'acqua dev'essere di circa 18° C. e il suo *pH* (coefficiente di acidità) dev'essere, all'inizio, di circa 6,5. Il film rimane nell'acqua per due minuti.

Il coefficiente di acidità ha grande importanza; esso deve essere tale da dare i migliori risultati sulla qualità della gelatina. Si è osservato che

variazioni del *pH* fra 4 e 8, influiscono moltissimo sul gamma del rilievo. Bisogna assolutamente evitare un'ossidazione troppo energica o troppo prolungata, perchè altrimenti la gelatina diventa facilmente insolubile anche nei punti senza immagine d'argento, e perciò simile a quella componente l'immagine, che è, come si disse, insolubile. L'operazione di spogliamento avviene allora in modo imperfetto.

Dopo il lavaggio il film viene passato per circa un minuto e mezzo, in una soluzione acquosa di ferrocianuro di potassio al 14 %, mantenuta a un $pH = 3{,}7$ e a 18° C.

Questo bagno ossida tutto il pirogallolo e funziona perciò da bagno d'arresto, mentre, al tempo stesso, trasforma l'argento dell'immagine in un ferrocianuro di argento di colore giallo chiaro, che produce lo sbianchimento dell'immagine. Inoltre esso rende completamente insolubile la gelatina capace di assorbire il colore.

Segue poi un lavaggio per circa un minuto e mezzo in acqua a 18° C. e avente un coefficiente di acidità di 6,5 e poi ancora un fissaggio per circa 4 minuti in un bagno d'iposolfito non acidificato e di concentrazione normale. Questo bagno discioglie il ferrocianuro d'argento.

Per ultimo il film così trattato passa al bagno di spogliamento (acqua a circa 55° C.), che scioglie le parti di gelatina non corrispondenti all'immagine. Dopo l'asciugamento il rilievo può essere colorato e usato, sia direttamente come monocromo colorato, sia come matrice per la stampa per trasporto.

* * *

La tecnica delle imbibizioni e dell'ottenimento delle matrici ha formato oggetto di altri numerosi procedimenti, in gran parte brevettati e acquisiti dalla Soc. *Technicolor.*

I processi per indurimento della gelatina sono abbastanza usati in pratica, sia nella sottospecie del rilievo, sia in quella per imbibizione. In alcuni sistemi s'impiegano direttamente i tre monocromi colorati; in altri, come per esempio nel *Technicolor* attuale, si stampano le tre matrici in rilievo, colorate coi colori fondamentali della sintesi sottrattiva, successivamente sopra un positivo trasparente. È inutile insistere sulle notevoli difficoltà di questo procedimento, sopratutto per quanto si riferisce alla perfetta sovrapposizione dei contorni delle tre immagini. Ne riparleremo in seguito.

In altri procedimenti il sistema per indurimento della gelatina è usato soltanto per l'ultimo colore (arancione), dato che per questo le

esigenze di una perfetta coincidenza delle immagini sono un po' meno assolute che per gli altri due colori.

In qualche sistema si stampano i monocromi verde-bluastro e porpora sopra un positivo a due strati dai due lati del supporto (materiale *dipo*), quindi si stende uno strato di gelatina sopra una delle due emulsioni già esistenti sul film e si procede al riporto del terzo monocromo (giallo) su questa gelatina seguendo uno dei procedimenti sopra descritti.

Sistemi a sviluppo colorante

Uno dei procedimenti più interessanti e, se vogliamo, anche uno dei più arditi, e che ha dato in questi ultimi tempi risultati molto lusinghieri è quello dello *sviluppo colorante*.

Il principio, assai originale, di questo procedimento si basa sopra un'osservazione fatta dall'Homolka. Questi osservò che, quando si sviluppa un'immagine d'argento in determinate circostanze, si viene a sovrapporre all'immagine d'argento un'immagine secondaria, costituita da prodotti organici insolubili provenienti dall'alterazione della costituzione chimica dello sviluppatore. Il Fischer, nel 1911, si servì di uno sviluppatore i cui prodotti d'ossidazione, uniti a talune sostanze organiche solubili, (dette *componenti*) aggiunte al bagno rivelatore, generavano materie coloranti, e riuscì in tal modo ad ottenere dapprima delle immagini monocrome, costituite, dopo l'eliminazione dell'argento ridotto, da sola materia colorante. Si trattò allora di risolvere il seguente problema: trovare tre componenti che, incorporati nei tre strati sensibili di un film a tre emulsioni e aggiunti ai prodotti d'ossidazione *dello stesso rivelatore*, dessero i tre colori (azzurro-verde, porpora e giallo) occorrenti per i tre monocromi.

Le ricerche furono lunghe, minuziose, laboriosissime, ma portarono infine ai risultati desiderati. Il Fischer trovò, per esempio, uno sviluppatore alla *p-amidodimetilanilina* che

1° con l'*α-naftolo* (componente aggiunto all'ultimo strato, sensibile al rosso) dà un prodotto *azzurro-verde*, il blu d'indofenolo;

2° col *cianuro di metilene* (componente aggiunto allo strato intermedio, sensibile al verde) dà un prodotto di *color porpora;*

3° con l'*aldeide acetica* (componente aggiunto al primo strato, sensibile al blu) dà un prodotto *giallo*.

Converrà porre subito in evidenza che questi sistemi a triplice emulsione e a sviluppo colorante *consentono la stampa diretta a colori da un controtipo colorato*. Vale a dire, ottenuto un primo tipo a colori, direttamente colla macchina da presa, è possibile ottenere per stampa diretta un numero indefinito di copie. Torneremo più oltre su questo importante argomento.

Sempre basandosi sul principio dello sviluppo colorante sono stati studiati, oltre quello del Fischer, altri sistemi alquanto più complessi,

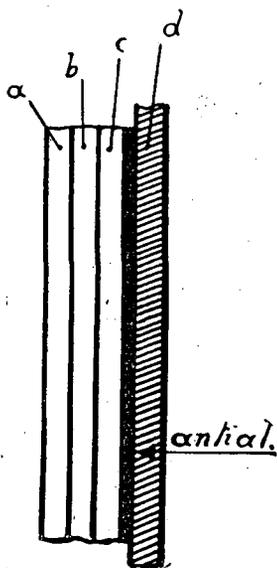



Fig. 36. — *Film triemulsionato sistema* Fischer

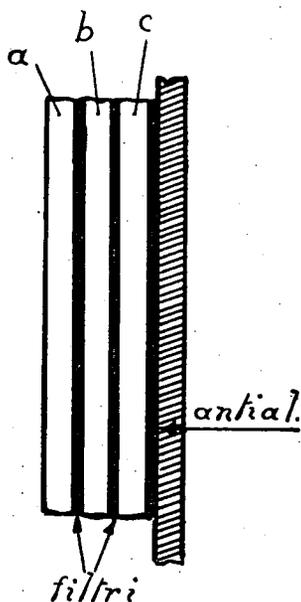



Fig. 39. — *Film triemulsionato* Kodachrome

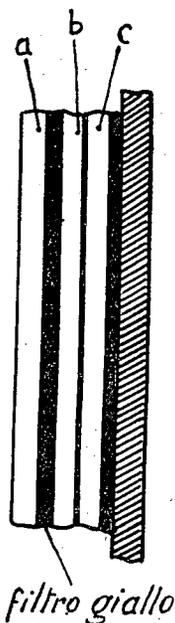



Fig. 37. — *Film triemulsionato* Agfacolor-Neu

ma capaci di dare risultati ancora più perfetti. Vogliamo accennare brevemente all'*Agfacolor-Neu* e al *Kodachrome*.

L'*Agfacolor-Neu* è già largamente usato in fotografie su film 35 mm. e sta ora per essere messo definitivamente a punto anche per la cinematografia spettacolare. Esso si differenzia dal sistema originario Fischer (v. fig. 36) per il fatto che fra lo strato esterno e quello intermedio è interposto un leggero filtro giallo (v. fig. 37). L'esposizione ha per effetto di dare, nei tre strati, tre immagini latenti selezionate, che si rivelano al primo sviluppo, fatto con rivelatore normale, come il metolo

o l'idrochinone, e tale cioè da non dar luogo — coi componenti contenuti nelle tre emulsioni — ad alcuna materia colorante. Si procede poi ad una nuova esposizione, che crea, col sale d'argento ancora intatto, tre nuove immagini latenti, complementari (positive) delle precedenti, e che, questa volta, vengono rivelate con uno sviluppatore colorante. Ne risultano tre positivi colorati, rispettivamente in giallo, porpora e verde-azzurro. Eliminato l'argento liberato, si hanno le tre immagini pure colorate e trasparenti. La fig. 38, Tav. IX, rende in modo chiaro lo svolgimento del processo.

Il sistema *Kodachrome* è molto più complesso. Anzitutto tutti e tre gli strati sono separati da due filtri (v. fig. 39).

Dopo l'esposizione si sviluppano i tre strati, e quindi si procede allo sbianchimento, eliminando tutto l'argento ridotto, come nei noti processi per inversione. Il residuo bromuro d'argento rappresenta perciò un positivo dell'immagine. La prima operazione del procedimento per la colorazione consiste nel trattamento con uno sviluppatore colorante, mediante il quale tutte e tre le immagini vengono colorate in blu-verdastro. Si procede, quindi, a un altro trattamento basato sopra un delicato processo di diffusione, mediante il quale il colorante delle immagini dei due primi strati (che non dovranno essere blu, ma rispettivamente gialle e porpora) viene eliminato, mentre l'argento viene ritrasformato in bromuro o joduro nuovamente sensibile. Segue un nuovo sviluppo, con un rivelatore colorante che dà, nei primi due strati, e solo in questi, un'immagine color porpora. Si ripete poi l'eliminazione del colorante porpora nello strato anteriore (che dovrà essere giallo), si rigenera in questo strato il sale alogeno sensibile d'argento, e si sviluppa infine con un rivelatore che produce, nel primo strato, l'immagine gialla. Dopo eliminazione definitiva dell'argento libero residuo, si ha l'immagine tricromica desiderata.

Stampa dei positivi su film a tre strati

Parlando dei processi a sviluppo colorante dei film a triplice emulsione abbiamo accennato alla possibilità di stampare un numero indefinito di controtipi servendosi di questi processi.

A tale scopo si può procedere in due modi:

a) partendo da un positivo colorato;

b) partendo da un controtipo negativo anch'esso colorato.

Nel primo caso la stampa, per contatto o per proiezione, ha luogo seguendo lo stesso identico procedimento seguito per la presa diretta: infatti il positivo colorato originale sostituisce, coi suoi colori, l'immagine reale formata originariamente dall'obiettivo e proiettata sul film a tre emulsioni. In pratica, però le cose non sono così semplici come può sembrare a prima vista. Basti, per rendersene conto, tener presenti le considerevoli differenze di tonalità, intensità e vivacità che senza dubbio esistono fra l'immagine data dall'obiettivo e quella positiva che ora serve da originale. Tali differenze non possono non influire in modo assai dannoso sul risultato della copia, che è costituita da un materiale adatto alla presa diretta, ma non alla stampa.

Si è perciò preferito ricorrere al secondo procedimento, partendo cioè da un controtipo negativo colorato. Se, nel trattamento di un film a triplice emulsione, invece di procedere col metodo descritto — sviluppo in nero, seconda esposizione, sviluppo colorante, (procedimento per inversione) — si sviluppa direttamente col rivelatore colorante, si fissa (si elimina cioè il sale d'argento rimasto intatto) e infine si elimina l'argento ridotto costituente il negativo in nero, si ottiene un *negativo colorato complementare,* nel quale i colori e le loro intensità sono i complementari di quelli dell'immagine reale. In altre parole, il giallo apparirà blu, il porpora verde, il blu giallo, e così via.

È evidente che, stampando questo negativo su materiale triemulsionato e procedendo come sopra, si può ottenere una copia positiva.

Questi brevi cenni consentiranno al lettore di formarsi un concetto della complicazione e della estrema delicatezza di questi procedimenti. Però, tutta la cinematografia a colori è materia straordinariamente complessa e precisa, e là dove si eliminano le difficili manipolazioni chimiche si presentano i problemi meccanici della perfetta sovrapposizione delle immagini separate, anch'essi estremamente delicati.

SISTEMI A RETICOLO POLICROMO

Abbiamo già visto su quale principio si basino questi sistemi e in che consistano i mezzi per realizzarli. Abbiamo pure accennato che essi possono essere suddivisi in due grandi gruppi, e precisamente:

a) *sistemi a reticolo policromo irregolare,*

b) *sistemi a reticolo policromo regolare.*

Il principio fondamentale di questi sistemi è, come vedemmo, assai semplice, almeno in teoria. Ma in pratica, e specialmente nel settore cinematografico, le difficoltà da superare sono numerose e spesso anche ardue.

Nella fabbricazione delle lastre e pellicole autocrome tipo *Lumière* il reticolo policromo è costituito da granuli di fecola di patata, accuratamente selezionati con particolari procedimenti, e aventi una forma approssimativamente lenticolare. Questi granuli vengono poi colorati, intimamente mescolati e quindi disposti in sospensione liquida, versati sull'emulsione sensibile e per ultimo fortemente pressati.

Ma non è da credere che queste operazioni siano semplici e prive d'errori.

Anzitutto bisogna tener presente che l'ideale sarebbe rappresentato da un reticolo costituito da elementi regolari (p. es. circolari o, meglio, esagonali), di dimensioni identiche e uniformemente disposti, e cioè senza agglomerazioni di particelle dello stesso colore. Eggert e G. Book hanno fatto ricerche approfondite sulla formazione di questi agglomeramenti — che tendono a rendere più appariscente il reticolo — e sul modo di eliminarli, e hanno dimostrato che la riduzione del numero di questi agglomeramenti è un problema praticamente insolubile, in senso assoluto, e che non può cioè essere risolto nè modificando le proprietà fisiche degli elementi, nè mediante un mescolamento di più lunga durata. L'unico modo di rendere meno visibile il reticolo, pur senza eliminare l'inconveniente degli agglomeramenti, è di servirsi di elementi quanto più piccoli è possibile.

Tuttavia, l'estrema piccolezza degli elementi del reticolo potrebbe rappresentare un grande vantaggio per la preparazione dei film autocromi, se essa non fosse causa di altri inconvenienti dal punto di vista della sensibilità dell'emulsione. E infatti, quanto più piccoli diventano questi elementi, tanto più le loro dimensioni si avvicinano all'ordine di grandezza dei granuli dell'emulsione, sì che si rende sempre più difficile la localizzazione degli effetti di filtraggio della luce sui singoli punti dell'emulsione stessa. Ne consegue un aumento dell'azione della luce anche sulle parti di emulsione non situate direttamente sotto elementi di reticolo colpiti dalla luce, aumento di azione che si traduce, dopo l'inversione, in uno sbianchimento della colorazione.

Basteranno questi pochi cenni perchè il lettore possa rendersi conto del fatto che questi limiti di finezza degli elementi del reticolo, imposti dal potere risolvente dell'emulsione fotografica, abbiano una dannosa in-

fluenza sulla resa dei dettagli dell'immagine, e perciò anche sulla nitidezza generale della fotografia.

Altri elementi che influiscono notevolmente sulla visibilità del reticolo e sulla resa dei colori sono la presenza di eventuali particelle opache e la vivezza dei colori impiegati. La grandezza media degli elementi è di circa 10 μ.

Nel sistema *Lumière* le zone vuote esistenti fra le particelle vengono riempite mediante l'inclusione di una massa scura (v. fig. 40).

Allo stesso gruppo dei sistemi a reticolo policromo irregolare appartiene l'*Agfacolor* (da non confondere nè coll'*Agfacolor lenticolare* nè coll'*Agfacolor-Neu*).

L'*Agfacolor* a reticolo policromo differisce dal sistema autocromo *Lumière* sopratutto perchè gli elementi vengono fatti combaciare tra

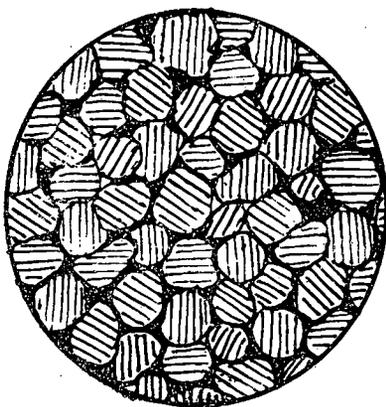



Fig. 40. — *Reticolo policromo tipo* Lumière

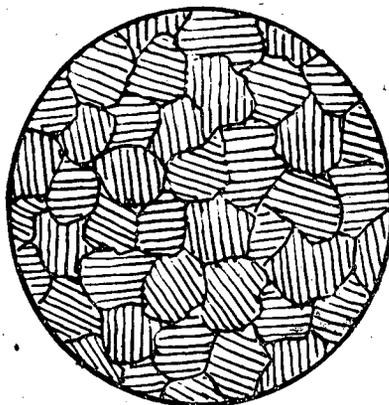



Fig. 41. — *Reticolo policromo tipo* Agfacolor

loro in modo da non lasciare interstizi vuoti (v. fig. 41). Il reticolo policromo per la pellicola cinematografica è ancora più fine di quello impiegato per le lastre (v. fig. 42 e 43, Tav. V); per la sua fabbricazione si fa uso di soluzioni resinose polverizzate, che si fanno distendere sull'emulsione del film. Si devono perciò impiegare materie coloranti solubili nei solventi per le resine.

Il filtro reticolare deve risultare nel suo complesso di un colore grigio neutro. La superficie ricoperta da ciascuno dei tre colori fondamentali è funzione dell'assorbimento spettrale di ciascuno di essi, ed è

fissata, per il film, dai seguenti rapporti: rosso 27 per cento, verde 34 per cento, blu 39 per cento.

Il materiale negativo di un film a colori può essere sensibilizzato esattamente solamente per una determinata luce; vale a dire che esso potrà rendere esattamente le tonalità cromatiche soltanto quando il soggetto sia illuminato dalla luce per cui il film è stato specialmente sensibilizzato.

In un primo tempo il materiale *Agfacolor* veniva sensibilizzato per la luce delle lampade a incandescenza, cosicchè nelle riprese alla luce solare era necessario servirsi di uno schermo giallo che assorbisse almeno una parte dell'eccesso di raggi azzurri. Ma recentemente furono scoperti dei sensibilizzatori capaci di accrescere di parecchio la sensibilità all'arancione, cosicchè si poterono ottenere film esattamente sensibilizzati per la luce bianca e quindi in grado di dare una buona resa a questa luce anche senza filtro.

Il grande vantaggio dei sistemi a *reticolo policromo regolare* in confronto a quelli del gruppo precedente consiste nell'eliminazione delle inevitabili irregolarità di distribuzione degli elementi colorati e, per conseguenza, nell'abolizione di quei dannosi agglomeramenti di cui abbiamo parlato più sopra. Bisogna però convenire che le difficoltà pratiche della preparazione del film crescono enormemente colla finezza degli elementi, cosicchè buona parte dei vantaggi viene annullata da questo grave inconveniente.

Le fig. 44 e 45 (Tav. V) riproducono due fra i più noti tipi di reticoli regolari e rappresentano precisamente, sotto forti ingrandimenti, i reticoli dei sistemi *Dufaycolor* e *Spicer-Dufay*.

Tutti questi sistemi presentano un reticolato, che, pur essendo regolare, ha gli elementi assai più grandi di quelli del gruppo precedente, e pertanto lontani ancora dal limite concesso dal potere risolvente dell'emulsione sensibile. Tuttavia, grazie alla loro regolarità, questi reticoli possono dare alla proiezione risultati paragonabili a quelli ottenuti dai più fini reticoli irregolari per quanto riguarda la visibilità del reticolo, ma con minore formazione di agglomerati monocromi. Questo favorevole risultato è stato poi ancora accresciuto mediante l'accorgimento di realizzare gli elementi blu del reticolo, assai più scuri di quelli verdi e rossi, sotto forma di linee continue di larghezza metà di quella degli altri due colori. Il reticolo del *Dufaycolor* ha le sue direttrici formanti un angolo di 23° coi lati dell'immagine, e, come si vede dalla fig. 44, ha gli elementi quadrati di colore blu, le linee continue

rosse e quelle interrotte verdi. Lo *Spicer* ha invece le linee continue blu, gli elementi rossi di forma quadrangolare e più grandi di quelli verdi, anch'essi quadrangolari. (V. fig. 46, Tav. VI).

Si hanno anche altri tipi di reticoli policromi regolari come il *Paget* (v. fig. 47, Tav. VI), applicato fino dal 1912 alle lastre per fotografie a colori, poste poi in commercio nel 1929 col nome di lastre *Finlay*. Nel sistema *Piller*, invece, gli elementi tricromici sono uguali e si alternano, separati da sottili striscie chiare. (V. fig. 48, Tav. VI).

Tutti questi sistemi dànno, per inversione, una copia positiva unica. La stampa delle copie successive presenta, come quella dei sistemi lenticolari, notevoli difficoltà.

Gli ostacoli da sormontare nei processi di stampa per questi sistemi sono essenzialmente tre:

a) gli effetti di diffusione,

b) il cosiddetto *moiré*,

c) la tendenza allo sbiancamento.

La diffusione è dovuta a un fenomeno d'irradiazione della luce di stampa nel passare attraverso l'emulsione, dopo essere passata attraverso il reticolo. Questa luce così diffusa produce, oltrechè una mancanza di nitidezza nei dettagli e nei contorni, anche una specie di velo grigio allo sviluppo che, per via d'inversione, diventa un velo bianco tendente ad annullare le mezze tinte e ad offuscare la vivacità dei colori.

Il *moiré* è sopratutto dovuto al fatto che gli elementi dei reticoli regolari, siano essi policromi o lenticolari, non sono sempre perfettamente paralleli nell'originale e nella copia, in modo che la coincidenza degli elementi lineari di colore viene a mancare dopo un certo tratto, per riprendere poi di nuovo dopo un altro tratto. L'effetto di questa eliminazione parziale e successiva d'un colore è precisamente quel *moiré*, così chiamato per la sua analogia con i riflessi di una nota stoffa. Vi sono vari sistemi, tutti più o meno complessi e più o meno sicuri, per eliminare questo grave inconveniente.

Circa la tendenza allo sbiancamento, essa non è come abbiamo già visto, che l'effetto della diffusione della luce attraverso l'emulsione e il reticolo.

Prima di chiudere la nostra esposizione sull'argomento della riproduzione dei film a colori a reticolo policromo regolare, riteniamo utile riassumere gli studi fatti recentemente in Inghilterra, per conto della Ilford Comp., circa il processo negativo-positivo del sistema *Dufaycolor*.

In questo sistema si otteneva dapprima la copia positiva per inversione del negativo originale: il procedimento normale negativo-positivo dava risultati scadenti e praticamente inservibili. G. B. Harrison e D. A. Spencer hanno elaborato ora un procedimento che consente di ottenere, col processo negativo-positivo, copie che essi asseriscono essere per lo meno altrettanto perfette quanto quelle che si possono ottenere per inversione.

Gli autori hanno utilizzato a questo scopo un fenomeno particolare, da essi osservato e chiamato « effetto di contrasto cromatico », e che si manifesta nello sviluppo per inversione delle pellicole a reticolo colorato.

Generalmente, come primo sviluppatore nel processo d'inversione di questo genere di film, si usa un rivelatore con aggiunta di un solvente del bromuro d'argento, quale, per esempio l'ammoniaca. È stato rilevato che questo solvente produce un aumento nella differenza degli annerimenti nei punti adiacenti delle diverse parti dell'emulsione; fenomeno analogo a quello conosciuto in fotografia col nome di « effetto di Eberhard » o di « linee del Macky ».

Tuttavia gli autori fanno osservare che, nel caso che ci interessa, il meccanismo del fenomeno è sostanzialmente diverso, e che, nei film a reticolo policromo, l'effetto di aumento di contrasto è di gran lunga superiore.

Questo fenomeno agisce precisamente in senso opposto a quello già da noi citato e che produce lo sbiancamento dell'immagine per diffusione; anzi la pratica ha dimostrato che, nel *Dufaycolor*, l'effetto di contrasto cromatico supera l'effetto di decolorazione.

L'effetto di contrasto si manifesta normalmente nello sviluppo per inversione dei film a reticolo policromo, perchè, come dicemmo, si usano sviluppatori con aggiunta di solvente del bromuro; non si manifesta invece, o si manifesta in scala molta ridotta, se si sviluppa con un rivelatore normale.

Se si aumenta la quantità di solvente sino ad ottenere un forte effetto di contrasto cromatico, si verifica nel negativo la formazione di un forte velo, che però — nel processo per inversione — non ha importanza, perchè l'argento ridotto viene poi disciolto.

Si capisce ora perchè le copie ottenute con procedimento negativo-positivo fossero sinora di qualità inferiore a quelle ottenute per inversione: in ambedue i casi si verifica una decolorazione, e cioè una diminuzione del contrasto cromatico per effetto della diffusione della luce

nel reticolo; ma mentre questo inconveniente viene ad essere compensato, nel procedimento per inversione, grazie all'aggiunta del solvente del bromuro (che produce l'effetto di contrasto cromatico, opposto a quello di sbiancamento), esso rimane intatto quando si sviluppa il negativo in modo normale.

Non essendo gli autori riusciti a trovare un rivelatore capace di produrre l'effetto di contrasto cromatico nello sviluppo negativo, e quindi tale da compensare lo sbiancamento per diffusione, essi rivolsero i loro studi a eliminare il male dalla radice, e cioè ad impedire l'effetto di diffusione della luce.

Sarebbe troppo lungo seguire gli autori nella loro esposizione completa; basti ricordare che essi sono riusciti a realizzare un materiale speciale, per tipo, caratteristiche e spessore dell'emulsione, capace di evitare l'effetto di diffusione e anche il *moiré*, che, nel peggiore dei casi, può solo verificarsi, e in misura molto ridotta, nelle ombre dell'immagine.

Harrison e Spencer hanno trovato cinque rivelatori che si adattano bene al procedimento negativo-positivo nel *Dufaycolor*: riportiamo qui sotto le formule di due di essi:

1.	Amidol	gr.	5
	Solfito di sodio cristallizzato . . .	»	80
	Fosfato tribasico di sodio	»	20
	Tiosolfato di sodio	»	12,5
	Acqua	cmc.	1000
2.	Metolo	gr.	10
	Solfito di sodio cristallizzato . . .	»	30
	Soda caustica	»	10
	Tiosolfato di sodio	»	20
	Acqua	cmc.	1000

Lo sviluppo al metolo sembra dia risultati ancora migliori di quello all'amidolo. Esso viene diluito in cinque volumi d'acqua; la durata è di 5 minuti a una temperatura di 18° C.

SISTEMI A RETICOLO LENTICOLARE

Come fu accennato a suo tempo, anche questi sistemi possono essere inclusi nel grande gruppo dei procedimenti per sintesi addittiva. Abbiamo pure dato qualche indicazione generica sul principio su cui essi sono basati.

L'importanza e, diciamo anche, la genialità dei sistemi a reticolo lenticolare è però tale da obbligarci a penetrare un po' più addentro nella complessa materia.

Anche questo gruppo di sistemi può essere suddiviso in due classi:

a) *sistemi a reticolo lenticolare chiuso,*

b) *sistemi a reticolo lenticolare rettilineo.*

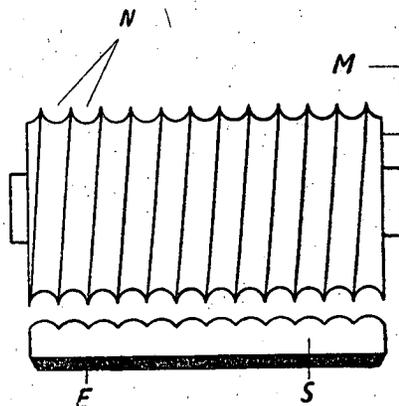
Il reticolato lenticolare chiuso, o a *elementi poligonali* (v. fig. 49) è stato ideato dal Berthon. In esso gli elementi lenticolari hanno forma esagonale; i filtri possono avere i colori disposti o secondo settori circolari, come in *a*), ovvero secondo striscie parallele, come in *b*) della predetta figura. In *a*) e *b*) sono appunto rappresentate le immagini del filtro sull'elemento di superficie emulsionata, ottenute appunto per mezzo dell'elemento lenticolare. Gli elementi hanno un diametro di circa 50 μ eccessivo sopratutto per le esigenze della proiezione cinematografica. Una riduzione di queste dimensioni era però resa impossibile da difficoltà d'ordine pratico: occorreva modificare la forma degli elementi lenticolari. Si passò così agli elementi lenticolari cilindrici, ideati dal Berthou in collaborazione col Keller-Dorian.

FIG. 49. — *Reticolo poligonale chiuso*

Le fig. 50 del testo e quella 51 della Tav. VI rappresentano, la prima una veduta prospettica di un film a reticolo lenticolare cilindrico

e della relativa matrice, e la seconda una veduta in pianta dello stesso film, secondo Berthon e Keller-Dorian. Ogni elemento ha qui la larghezza complessiva di 46 μ; la parte centrale è trasparente ed ha ai due lati una striscia nera larga circa 9 μ. Nella parte centrale vengono a formarsi, in senso parallelo all'asse della lente cilindrica, le immagini delle tre strisce del filtro; ciascuna di queste immagini ha perciò, anch'essa, una larghezza di circa 9 μ.

Fig. 50

Analoga a quella *Keller-Dorian-Berthon* è la striatura del *Kodacolor* (v. fig. 52, Tav. VI); solo che la larghezza degli elementi è un po' inferiore, e cioè 43 μ in totale, divisa in cinque strisce, di cui due nere, della larghezza di circa 8,5 μ ciascuna.

Nel sistema *Agfacolor* le striscie nere sono state abolite (v. fig. 53, Tav. VI); la larghezza dell'elemento lenticolare è stata ridotta a soli 28 μ, cosicchè ciascuna striscia cromatica ha una larghezza di 9 μ.

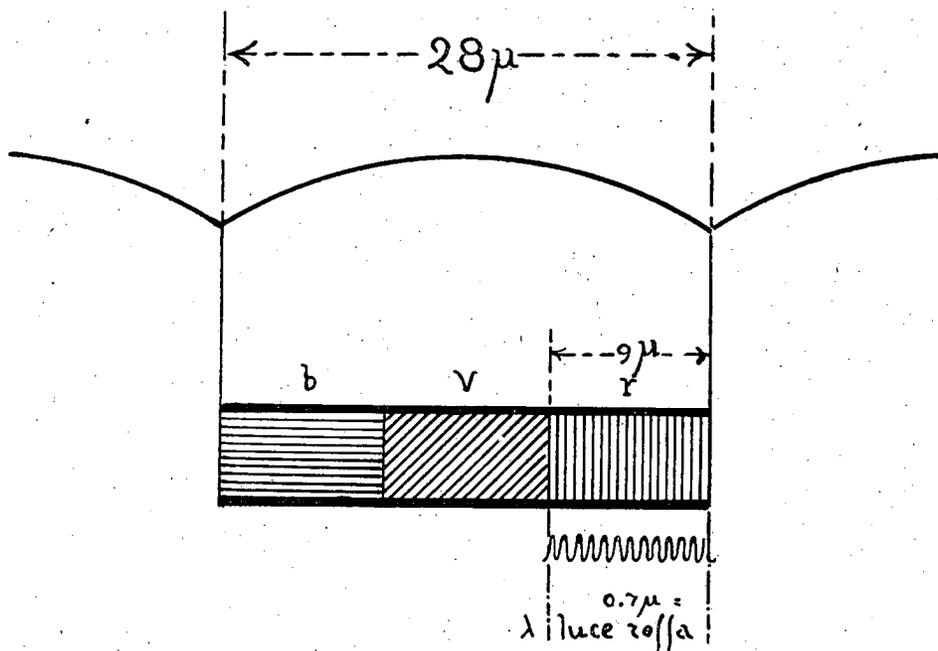



Fig. 54

Non è difficile rendersi conto della straordinaria finezza di una simile striatura e delle difficoltà tecniche che si debbono superare per realizzarla.

Per dare un'idea dell'estrema piccolezza di questi sistemi lenticolari, ricorderemo che, essendo, per esempio, l'immagine della striscia del rosso larga solo 9 μ, e dato che la lunghezza d'onda del colore rosso è di 0,7 μ, nella larghezza della predetta immagine entrano soltanto all'incirca 13 vibrazioni luminose, così come è chiaramente indicato nella fig. 54.

La fig. 55, Tav. VII rappresenta una microfotografia della sezione di un film a reticolo lenticolare, sistema *Berthon-Siemens*. Si osservi l'estrema sottigliezza dello strato sensibile in confronto allo

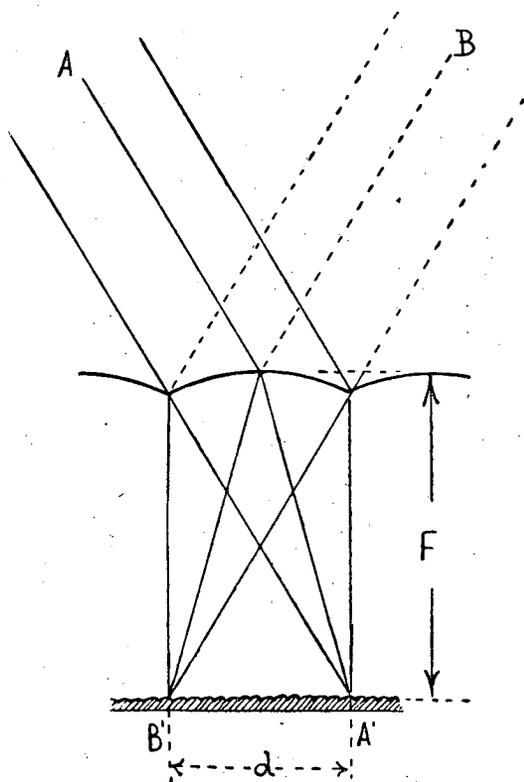



Fig. 57

spessore relativamente grande del supporto di celluloide. L'ordine di grandezza delle lenticole è inferiore alla grossezza media di un capello di donna.

Come si è detto, le lenticole vengono stampate per pressione sulla faccia esterna del supporto di celluloide, mediante rulli di acciaio finissimamente incisi con metodi speciali. La fig. 56 (Tav. VII) rappresenta la macchina costruita dalla Siemens per l'incisione del reticolo lenticolare nel sistema *Berthon-Siemens*.

Naturalmente la costruzione d'un sistema a reticolo lenticolare deve seguire rigide norme ottiche e geomètriche. Le lenticole elementari debbono avere un fuoco e un raggio di curvatura matematicamente stabiliti. Le fig. 57 e 58 indicano chiaramente le basi su cui questi elementi devono essere determinati.

Supponiamo che una superficie luminosa *A B*, lunga *D*, situata alla distanza *F* dalla superficie di un film lenticolare *L*, invii ad un elemento lenticolare i suoi due raggi estremi, partenti da *A* e da *B*. Nella parte sinistra della fig. 57 è rappresentato questo elemento lenticolare. I pennelli luminosi uscenti da *A* e da *B* e che colpiscono l'elemento possono essere considerati come costituiti ciascuno da raggi paralleli, e ciò data la grandezza di F in confronto alle piccole dimensioni dell'elemento lenticolare. Lo strato di celluloide è spesso *f*, (v. fig. 58), l'indice di rifrazione della celluloide è *n;* è evidente che i raggi provenienti da

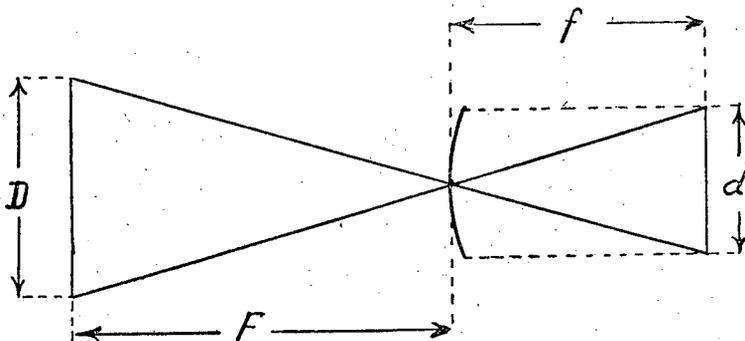



Fig. 58

A e da *B* verranno rifratti; affinchè la rappresentazione di *A B* sull'emulsione sensibile sia esatta e non lasci spazi vuoti laterali, nè ricopra in parte le immagini della stessa *A B* formate dalle lenticole viciniori, occorre che tale rappresentazione cada in *B'A'* = *d*. Vale a dire che la lunghezza focale dell'elemento lenticolare dev'essere uguale allo spessore della celluloide, e che fra le grandezze *F*, *D*, *f*, *d*, *n* deve sussistere la relazione

$$\frac{f}{n.d} = \frac{F}{D}$$

È questa l'equazione fondamentale del film a reticolo lenticolare.

In pratica *D* rappresenta l'apertura della pupilla di emergenza dell'obiettivo. Qualora quest'apertura fosse minore di quella ricavata

dalla formula precedente, avverrebbe che, nel processo d'inversione del film, si avrebbero striscie scure nere inutilizzate, situate fra le immagini reali della superficie A B, ciò che potrebbe, in determinati casi, rendere eccessivamente visibile il reticolo.

Teoricamente il piano focale degli elementi lenticolari dovrebbe trovarsi sulla superficie di separazione fra emulsione e supporto. Ma, anche in questo minuscolo sistema ottico, le immagini hanno una certa profondità focale, sì che è consentita, in pratica, una certa tolleranza fra la lunghezza focale del sistema e lo spessore del supporto trasparente.

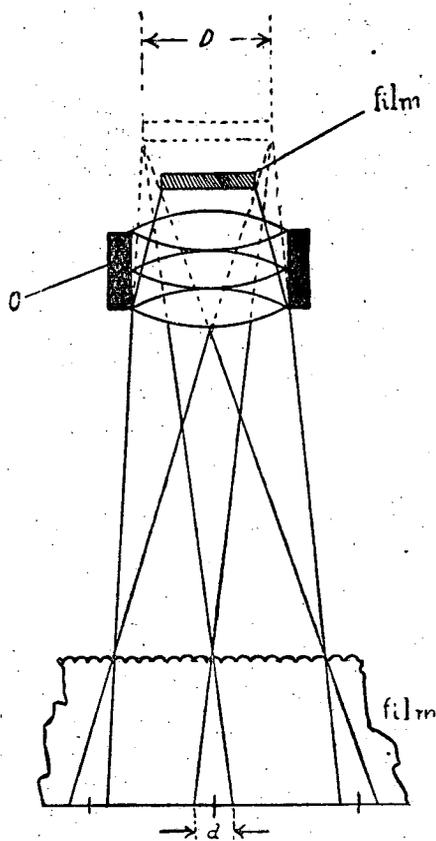



Fig. 59

Nella fig. 59 sono rappresentate schematicamente le posizioni relative e le dimensioni dell'obiettivo e del filtro rispetto al film lenticolare. Le notazioni sono le stesse che in fig. 57, solo si vede come D rappresenti in effetto la pupilla di emergenza dell'obiettivo e come risultino la posizione e il diametro del filtro tricromico.

Anche i filtri hanno formato l'oggetto di accurati studi. Sono stati creati due tipi di filtri: a tre e a cinque striscie. Vediamo ora i motivi che hanno indotto a passare, là dove era possibile, da tre a cinque striscie.

Quando le posizioni relative del filtro e dell'obiettivo non siano perfettamente stabilite, per esempio, a causa della forma della montatura e della disposizione delle lenti, ovvero per effetto di diaframma, può succedere che, specialmente pei punti dell'immagine distanti dall'asse ottico (periferici), il filtro resti parzialmente coperto dal diaframma o dalla montatura, come in fig. 60. Ne consegue che, per questi punti, le percentuali di filtraggio sono diverse che per quelle per le quali il fenomeno non avviene: nel caso della figura, il filtro blu è totalmente eliminato, il filtro verde è ridotto del 50 per cento, il rosso

resta invece intatto. In questo caso è evidente che l'equilibrio cromatico viene falsato e che l'immagine sarà affetta nella sua parte sinistra da un eccesso di rosso, detto *errore dominante*. Nella sua parte destra, invece, si avrà una dominante blu.

Per eliminare la possibilità di questo errore che, naturalmente, si verifica più facilmente per i formati un po' grandi, come il 35 mm., che non per i formati ridotti, e sopratutto per gli obiettivi di grandissima apertura relativa, si è pensato di usare filtri a cinque striscie, del tipo riprodotto nella fig. 61. Il funzionamento di questo filtro è indicato nella fig. 62. Avviene cioè che l'immagine di questo filtro a cinque striscie uscirà dal campo della propria lente elementare per invadere quello delle due lenti vicine. In altre parole l'errore che può essere causato dalla limitazione di campo cui abbiamo più sopra accennato e che è causa della dominante, viene compensato dalla parziale invasione del campo della lenticola vicina.

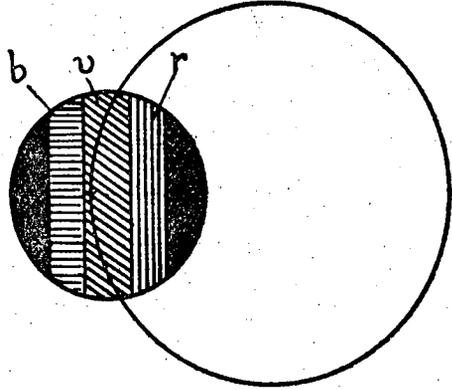



FIG. 60. — *Effetto di mascheramento parziale del filtro*

Questi filtri possono anche essere compensati nei confronti della composizione della luce che illumina i soggetti. Lavorando, per esempio, con lampade a incandescenza, la cui luce è notoriamente ricca di radiazioni rosse e arancione, si potrà mascherare il filtro nel modo indicato nella fig. 63. Si diminuisce così la percentuale del rosso e meno notevolmente quella del verde, lasciando intatta quella del blu. Analogamente, lavorando con eccesso di raggi verdi, si potrà mascherare il filtro come indicato in fig. 64.

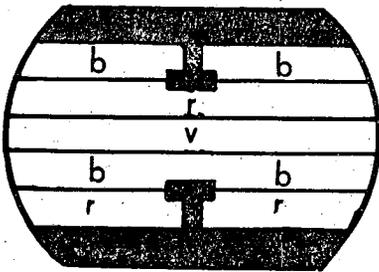



FIG. 61

Il problema più complesso, e tuttora solo in parte risolto, che si è dovuto affrontare per i sistemi di cinematografia a colori a reticolo lenticolare, è quello della *stampa delle copie*. È ovvio che dalla soluzione

pratica e integrale di tale problema dipende la possibilità d'impiegare questi sistemi nella cinematografia spettacolare.

La stampa normale per contatto diretto fra due film a superficie lenticolare è a priori esclusa, data là impossibilità di garantire in questo modo l'assoluta perfetta corrispondenza fra gli elementi lenticolari e le selezioni cromatiche dell'originale e quelli della copia.

I vari sistemi ideati per stampare per via ottica le immagini su pellicola lenticolare si basano tutti sulla considerazione seguente:

« In questo genere di presa tricro- « mica, anche dopo aver tolto il filtro, « esistono sempre, nello spazio situato « davanti al film sviluppato, tre punti « nei quali s'intersecano, per ciascuno « dei tre colori, tutti i raggi appartenen- « ti allo stesso monocromo. Questi pun- « ti corrispondo in distanza e in dimen- « sioni alle immagini virtuali delle stri- « scie del filtro di presa ».

Fig. 62. — *Funzionamento del filtro a cinque striscie*

Partendo da questa osservazione, si può dedurre che i procedimenti di stampa dovranno soddisfare la condizione seguente: il percorso dei raggi che devono giungere alla copia dev'essere tale che i raggi stessi attraversino tutti questi punti d'intersezione o le loro immagini reali o virtuali.

I procedimenti di stampa pei sistemi lenticolari si dividono in due gruppi:

a) quelli nei quali l'originale viene illuminato dalla parte dell'emulsione;

b) quelli nei quali l'originale viene illuminato dalla parte del reticolo lenticolare.

La disposizione dei vari elementi nel caso del gruppo *a*) corrisponde esattamente alla proiezione che normalmente si fa per questo tipo di film.

La fig. 65 dà una rappresentazione schematica delle varie operazioni che si possono compiere mediante illuminazione dalla parte dell'emulsione.

Come risulta chiaramente da tale figura, in *a* si ha il procedimento di proiezione; in *b* quello per la stampa ottica, in *c* quello per la stampa per contatto (*), in *d* il modo di ottenere da un originale lenticolare, un monocromo d'immagine su film piano. Per ottenere quest'ultimo risultato basterà interporre fra l'originale lenticolare e la copia un film lenticolare intermedio, ottenuto fotografando su film lenticolare una superficie monocroma unita di colore corrispondente a quello del monocromo d'immagine che si vuol trarre dal film lenticolare originale.

Fig. 63

Fig. 64

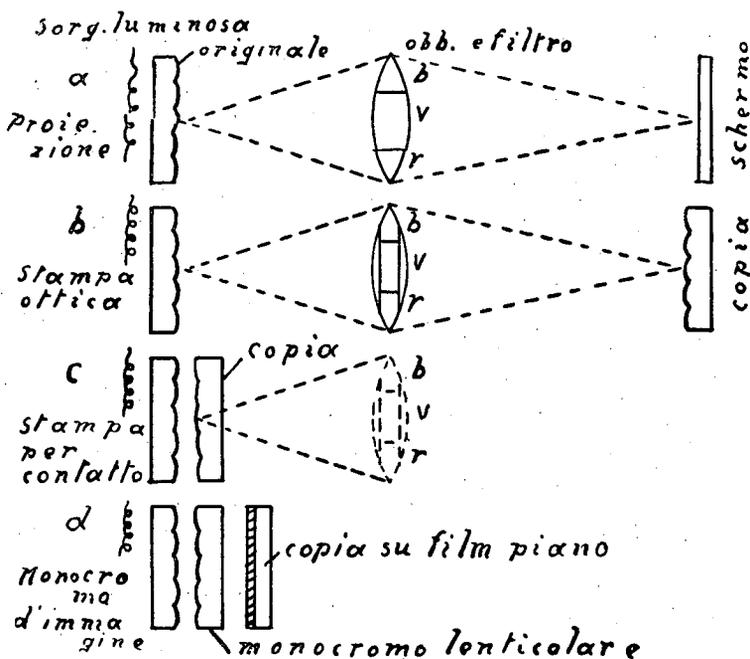



Fig. 65. — *Schema della stampa ottica o della selezione cromatica nei sistemi lenticolari mediante illuminazione dal lato dell'emulsione*

(*) Pur servendoci di questa locuzione, bisogna notare che, neppure in questo caso, si ha un vero e proprio contatto fra originale e copia, perchè queste si trovano a brevissima distanza, tale da soddisfare alle condizioni ottico-geometriche più sopra enunciate.

Nella fig. 66 sono rappresentati schematicamente i procedimenti da seguire quando la luce per la riproduzione, o per la proiezione, viene inviata sulla superficie lenticolare anzichè sull'emulsione.

Si osserverà anzitutto che, in questo caso, il filtro tricromico è disposto nei pressi della sorgente luminosa. Nella stampa ottica, subito dietro al film originale, si trova una lente destinata a dare, sul piano centrale dell'obiettivo, l'immagine del filtro.

Nella stampa per contatto si intercala, fra l'originale e la copia, un monocromo lenticolare ottenuto in modo analogo a quello indicato più sopra per ottenere un monocromo su film piano da un originale

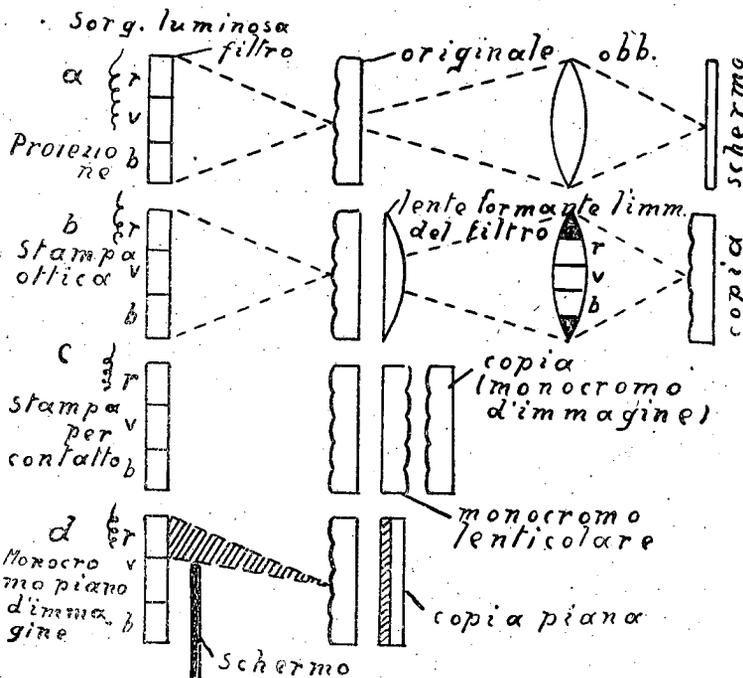



FIG. 66 — *Schema della stampa ottica o della selezione cromatica nei sistemi lenticolari mediante illuminazione dal lato del reticolo*

lenticolare (v. fig. 65 *d*). Mediante questo monocromo si ottiene sulla copia il monocromo d'immagine corrispondente. L'operazione viene ripetuta tre volte, cambiando il monocromo lenticolare per ciascuno dei tre colori fondamentali.

Infine, nella figura 66 *d*, è indicato come si possa ottenere, in questo caso, un monocromo d'immagine su film piano da un'immagine lenticolare. Data la posizione del filtro, non è più necessario servirsi

del monocromo lenticolare come in figura 65 *d*, ma basta otturare le striscie del filtro corrispondenti ai due colori che si vogliono eliminare, lasciando libero il passaggio della luce attraverso la striscia del cui colore si vuole ottenere il monocromo piano.

È però da notare che questi procedimenti di stampa per i film lenticolari non hanno finora condotto a risultati soddisfacenti, perchè le copie sono sempre più o meno affette da errori (*moiré* e mancanza di nitidezza).

Dopo lunghissimi e pazienti studi la Siemens di Berlino è riuscita a realizzare un sistema molto originale, che ha dato ottimi risultati, benchè non sia ancora riuscito a imporsi definitivamente nel campo pratico.

Il procedimento di stampa del sistema *Berthon-Siemens* può essere brevemente descritto nel modo seguente. Tre obbiettivi separati, di piccola apertura, ma con grande campo d'immagine corretto, vengono disposti (v. fig. 67, Tav. VIII), in rapporto all'originale, in modo da riprodurre ciascuno e separatamente gli elementi rossi, verdi e blu dell'originale. Le immagini così ripartite vengono messe a punto mediante un sistema di specchi. Il sistema ottico di stampa proietta un'immagine del reticolo del film originale in modo che la luminosità di ciascun elemento lenticolare corrisponda alla luminosità media delle tre componenti cromatiche relative all'elemento stesso.

Il reticolo del film copia è fatto coincidere col piano focale del reticolo dell'originale. Le immagini corrispondenti ai tre colori fondamentali essendo disposte direzionalmente in rapporto ai tre obbiettivi di stampa, avverrà che la stampa di ciascuno dei tre monocromi avrà luogo, attraverso ciascun obbiettivo, in modo identico alla ripresa.

Con questo sistema di stampa il *moiré* può essere soppresso usando una illuminazione di grande apertura ad angolo retto colle direttrici delle lenti cilindriche dell'originale, e senza perdita di nitidezza.

Questo procedimento presenta anche il vantaggio di consentire, nella stampa, un intervento per regolare il dosaggio dei tre colori elementari. La fig. 67 spiega in modo schematico come si è potuto raggiungere questo scopo. Gli specchi *Sp* provvedono a far riconvergere sul film copia i fasci di luce divergenti selezionati nei monocromi lenticolari, captati dall'obiettivo superiore (monocromo verde) e da quello inferiore (monocromo blu). Davanti a ciascuno dei tre obiettivi si è disposto un diaframma regolabile; in tal modo è possibile regolare la intensità della luce di ciascun monocromo giungente sul film copia, cosa di grande

importanza ai fini estetici della proiezione. Il procedimento ora indicato costituisce sino ad oggi l'unico esempio di possibilità d'intervento ai fini della regolazione cromatica nella stampa dei film a reticolo lenticolare.

La fig. 68 (Tav. VIII), rappresenta una stampatrice per film a colori sistema *Berthon-Siemens*.

Sistemi misti con « bipack-lenticolare »

Parlando dell'ottenimento dei monocromi mediante sistemi misti, abbiamo già fatto cenno del sistema *bipack-lenticolare* (*Linsenraster-zweipack*) della casa tedesca Agfa.

Questo procedimento misto offre notevoli vantaggi, anche nei confronti dei normali sistemi lenticolari. Questi vantaggi si riferiscono sopratutto alle minori esigenze nei riguardi del potere risolutivo del sistema lenticolare, tanto per sè stesso quanto in rapporto alla granulazione dell'emulsione sensibile. E ciò è ovvio, qualora si rifletta che, nel *bipack* lenticolare, la selezione cromatica e cioè la separazione di ogni elemento in elementi cromatici, ha luogo per due soli colori anzichè per tre. Teoricamente, perciò, le dimensioni delle lenticole potrebbero essere aumentate del 50 per cento senza timore di falsare la riproduzione con coperture parziali di elementi vicini di colore diverso. Si può, pertanto, anche accrescere la granulazione dell'emulsione; ciò che consente di ricorrere, in certi casi, anche al processo negativo-positivo, che dà una maggiore grana, ma che è assai più semplice del sistema per inversione, normalmente usato per i film a reticolo lenticolare.

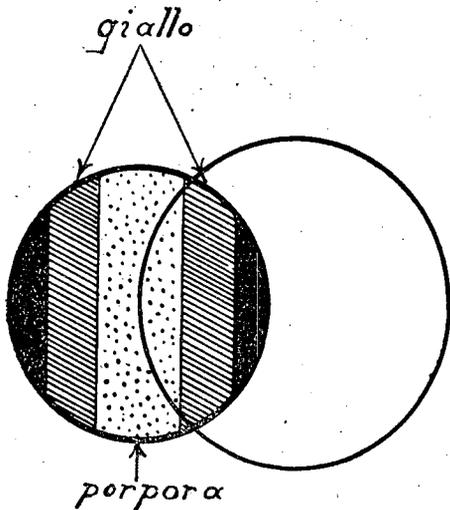



Fig. 69

Un altro vantaggio non trascurabile è la minor tendenza alla *dominante*. Basta infatti ricordare quanto abbiamo esposto circa questo

errore quando si usano filtri a tre striscie di tre colori e confrontare con quanto avviene invece, come rappresentato in fig. 69, quando si usano filtri a tre striscie di due soli colori diversi, come nel caso del *bipack lenticolare.* Confrontando la fig. 69 con la fig. 60 si può osservare che, coll'uso del filtro a due soli colori, anche in caso di parziale copertura del filtro stesso, la percentuale dei due colori non varia o varia di molto poco, eliminando così la causa caratteristica dell'errore dominante.

Per quanto riguarda il processo positivo, ricorderemo che, ottenuto sul film anteriore (lenticolare) il monocromo degli elementi verdi e di quelli blu, è possibile ricavarne su film piani i monocromi separati verdi e blu, servendosi di uno dei procedimenti ai quali abbiamo accennato esponendo i principii della stampa dei sistemi lenticolari. Separati i due monocromi verde e blu, e avendo già a disposizione il terzo monocromo rosso ottenuto direttamente su film piano, si può passare al processo positivo servendosi di uno dei tanti sistemi già descritti.

Fig. 70. — *Procedimento di stampa nel bipack lenticolare* Agfa. — Fl: *Film lenticolare.* — Fb. — *Tripo-film.* — Fn: *Film normale.*

Questi monocromi possono essere ottenuti, secondo il processo scelto, come positivi o come negativi, e ciò sviluppando il film lenticolare con processo negativo o per inversione. Tuttavia il procedimento di stampa può essere notevolmente semplificato se si dispone di un materiale positivo che abbia tre strati sensibili, uno sensibile al blu da un lato, egli altri due, sensibili al verde e al rosso dall'altro lato.

Si esamini la fig. 70. In alto è stato disegnato, per memoria, il filtro giallo-porpora-giallo di presa. Per la stampa si usa invece il filtro sottostante, con tre striscie rosso-verde-rosso. Il film lenticolare portante i due monocromi elementari verde e blu viene disposto colla superficie lenticolare verso il filtro; la sua emulsione è a contatto col

doppio strato del « Tripo » e precisamente contro lo strato sensibile al verde (che dovrà poi essere colorato in giallo). Sotto questo strato è lo strato sensibile al rosso (che dovrà poi essere colorato in porpora). Dall'altro lato del supporto del « Tripo-film » si trova lo strato sensibile al blu, che dovrà essere colorato in azzurro-verdastro. Infine, coll'emulsione a contatto con questo strato, è disposto il monocromo rosso ottenuto su film piano nel procedimento di presa.

Perchè la stampa abbia luogo in modo soddisfacente, occorre che il monocromo verde del film lenticolare risulti stampato nello strato porpora e quello blu nello strato giallo. Per raggiungere questo risultato selettivo si sono utilizzate con successo le caratteristiche proprie dei film a reticolo lenticolare.

Infatti, se, in una posizione geometricamente corrispondente, rispetto al film lenticolare, a quella del filtro giallo-porpora-giallo di presa, si sostituisce un filtro rosso-verde-rosso, avverrà quanto segue. Le parti chiare del film lenticolare costituenti il monocromo *verde* sono quelle per le quali, nella presa, la luce è passata attraverso alla porzione gialla (trasparente cioè al *verde* e al rosso) del filtro di presa. Parimenti, le parti chiare costituenti il monocromo *blu* sono quelle per le quali la luce è passata attraverso alla porzione porpora (trasparente al *blu* e al rosso) del filtro di presa.

Avverrà allora, alla stampa, che nei punti chiari del monocromo *verde* la luce passerà attraverso alla parte *rossa* del filtro di stampa, si colorirà in rosso e impressionerà l'emulsione inferiore, sensibile al rosso, e qui allo sviluppo, verrà del nero. Invece il punto corrispondente della emulsione superiore, *non* resterà impressionata. In altre parole, il monocromo verde risulterà stampato in nero nella emulsione inferiore, e il monocromo blu in quella superiore.

Ricordando poi che il sistema di colorazione qui impiegato appartiene al gruppo per sbianchimento all'argento, vale a dire che il colore si elimina là dove c'è dell'argento ridotto, risulterà che, eliminato il colore nei punti anneriti, si avrà un'immagine positiva porpora nello strato inferiore e gialla in quello superiore. Evidentemente la stampa va fatta da positivi e non da negativi.

Grazie quindi alle caratteristiche specialissime del film lenticolare si è potuto ottenere una separazione dei due monocromi fusi insieme nel film a reticolato, stampandoli ciascuno nello strato corrispondente.

Per quanto riguarda il terzo monocromo, quello rosso, esso viene stampato direttamente (anche questo da un positivo) sullo strato poste-

riore del « Tripo », che, come è noto, è sensibile al blu e viene colorato in azzurro-verdastro. Alla fine della stampa e dopo sviluppo e fissaggio si procede alla eliminazione del colore nei tre strati e si otterrà così il risultato definitivo e cioè:

monocromo *blu* stampato sullo strato anteriore, colorato in *giallo*,

monocromo *verde* stampato sullo strato sottostante, colorato in *porpora*,

monocromo *rosso* stampato sullo strato posteriore, colorato in *verde-blu*,

secondo, cioè, gli esatti cànoni della sintesi sottrattiva.

I MATERIALI « BIPACK » E « TRIPACK »

Abbiamo già incidentalmente accennato in che consista il « bipack ». Due film, combacianti dalla parte dell'emulsione, scorrono insieme nella finestra di presa e vengono impressionati simultaneamente.

L'idea di usare questo sistema per la fotografia a colori risale al Ducos du Hauron (1895), ma venne in seguito ripetutamente perfezionata e trasportata nel campo della cinematografia a colori. Una delle prime applicazioni cinematografiche del « bipack » è quella del *Brewster* (1915) per un suo sistema bicromico; ma oggi la grande importanza assunta da questo processo è essenzialmente dovuta alla sua applicazione nei sistemi tricromici, nei quali i monocromi siano ottenuti con prismi o specchi separatori e due finestre di presa (p. es. il *Technicolor*).

È evidente che le zone di sensibilità dei due film componenti il « bipack » devono essere diverse. Si può procedere in diversi modi.

Si può, per esempio, registrare il monocromo blu sul film anteriore e il rosso sul posteriore, ovvero, alternativamente, il verde sull'anteriore e il rosso sul posteriore. In questo secondo caso si ottiene in realtà una tricromia perchè si ha, nella prima esposizione, un blu e un rosso, e, nella seconda, un verde e un rosso: in complesso, cioè, un blu, un verde e un rosso.

La zona di sensibilità del film anteriore dovrà pertanto essere massima per l'azzurro e pel verde, e poca o nulla per il rosso (emulsione *ortocromatica*); la zona di sensibilità del film posteriore dovrà essere specialmente quella del rosso (emulsione *pancromatica* o particolar-

mente sensibilizzata al rosso). La *Technicolor* ha brevettato il sistema che riprende sul film anteriore il monocromo blu.

Quando, però, si voglia riprendere alternativamente, sul film anteriore, una volta il monocromo blu, e dopo quello verde, occorrerà inserire nel primo caso un filtro porpora, che assorbe il verde, e nel secondo un filtro giallo, che assorbe il blu.

Qualora il film posteriore sia perfettamente pancromatico, è indispensabile inserire fra il film anteriore e il posteriore un filtro rosso-arancio, capace di assorbire i raggi blu e verdi lasciati passare dal film

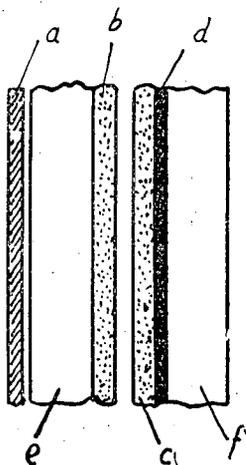



Fig. 71. — *Bipack Agfa*

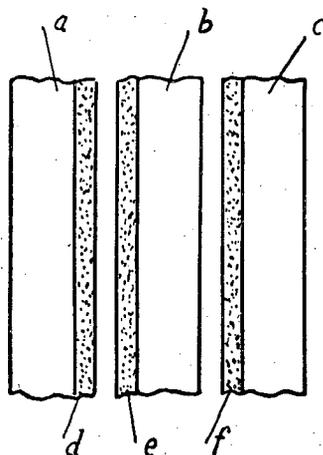



Fig. 74. — *Tripack*

anteriore. Questo filtro può anche essere rappresentato da uno strato di gelatina colorata applicata sull'emulsione di uno dei due film combacianti.

Questa soluzione è stata adottata tanto dalla casa tedesca *Agfa*, quanto da quella americana *Dupont*. Nel sistema *bipack Agfa* il film anteriore è ortocromatico, e sulla sua emulsione, è disposto un filtro rosso-arancio (v. fig. 71). Il film posteriore è pancromatico e registra soltanto la selezione rosso-arancio. I due film sono perforati contemporaneamente; le sensibilità sono selezionate al massimo e le due emulsioni accuratamente bilanciate nei riguardi della rapidità e del contrasto. Il tempo di posa non supera di molto quello normale per il film in bianco e nero. Il filtro disposto sull'emulsione ortocromatica funge anche da strato antialone (per evitare gli effetti di riflessione dal secondo film) perchè esso assorbe tutti i raggi pei quali l'emulsione

ortocromatica anteriore è sensibile. Questo filtro si dissolve completamente e scompare nel bagno di sviluppo.

La sensibilità è selezionata in modo da non rendere necessario l'impiego di un filtro compensatore quando si usano lampade a incandescenza; per luce diurna o di lampade ad arco si può usare un filtro Agfa N. 2 per assorbire l'eccesso di raggi di onda corta. La *Agfa* consiglia d'impiegare questo materiale soltanto con macchine da presa munite di punte di fissaggio, onde garantire la perfetta registrazione e l'assoluto combaciamento dei monocromi.

L'*Agfa-Bipack* è destinato essenzialmente ai processi bicromici, pei quali la casa germanica ha anche posto in commercio uno

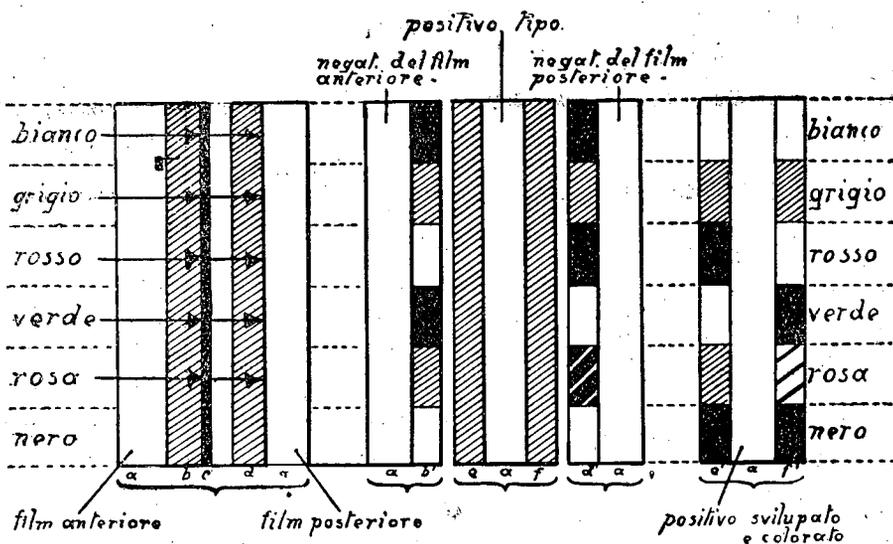



FIG. 72. — *Schema del funzionamento del « bipack-Agfa »*

a celluloide
b emulsione sensibile al verde-azzurro
c filtro arancione
d emulsione sensibile al rosso
b' e *d'* emulsioni negative sviluppate
e e *f* emulsioni positive
e' emuls. posit. sviluppata e colorata in arancione.
f' emuls. posit. sviluppata e colorata in verde azzurro

speciale materiale positivo, il *Dipo-Film*, avente due strati sensibili, disposti sulle due faccie del supporto. Stampati i due monocromi sulle due faccie si possono colorare le due immagini secondo uno dei numerosi procedimenti di colorazione, di cui abbiamo diffusamente parlato nei sistemi di colorazione al viraggio.

Tuttavia, tanto l'*Agfa-Bipack* quanto il *Dipo* possono essere usati anche nei processi tricromici.

Nel primo caso si può usare il « bipack » in una macchina a due finestre e prisma separatore (v. *Technicolor*), ovvero col sistema alternativo, come più sopra accennato. Nel processo positivo si può aggiungere al *dipo* il terzo colore mediante uno dei procedimenti per stampa a matrice, o con l'aggiunta di uno strato sensibilizzato al bicromato (v. oltre).

Il « bipack » della casa americana Dupont è noto in commercio col nome di *Dupac*. Esso non differisce sostanzialmente dal materiale Agfa sopra descritto.

Alquanto diverso è invece il « bipack » della casa Gevaert. Nell'idearlo si è partiti dal concetto che, nei « bipack » del tipo di quelli precedenti, la registrazione del monocromo rosso-arancio, che deve poi

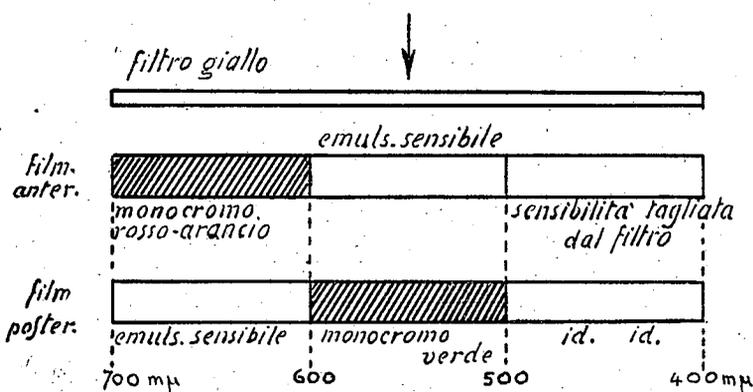



Fig. 73. — *Schema del « bipack-Gevaert »*

essere colorato in verde-azzurro, ha luogo dietro il film anteriore, ciò che crea inevitabilmente una deficienza di nitidezza proprio nel monocromo che, dal punto di vista dei contorni, è il più visibile.

Nel *bipack Gevaert* invece, è il film anteriore che è sensibilizzato al rosso-arancio, mentre non lo è per il verde e verde-azzurro. Il film posteriore è munito di un'emulsione ortocromatica ultra-rapida con supporto antialone. Davanti al primo film si ha un filtro giallo, che elimina il blu prima che questo possa giungere al film anteriore.

In questo modo sul film posteriore si ottiene il monocromo verde, da colorare in rosso, mentre il monocromo rosso-arancio, da colorare in verde-azzurro, assai più importante dal punto di vista della nitidezza, è ottenuto sul film anteriore, ed è perciò molto più inciso.

Il funzionamento di questi « bipack », assai interessante dal punto di vista della selezione cromatica, è chiaramente spiegato negli schemi indicati nelle figure 72 e 73.

Per quanto riguarda i sistemi « tripack », ai quali abbiamo già incidentalmente accennato, ricorderemo qui che parecchi tentativi sono stati fatti in questo senso, ma con risultati poco favorevoli, almeno nel campo cinematografico. È infatti logico che gli ostacoli già abbastanza gravi che si debbono superare nel « bipack » e che sono dovuti, più ancora che alla difficoltà della selezione cromatica, alla mancanza di nitidezza che spesso si lamenta sul monocromo del film posteriore, risultano di molto accresciuti nel « tripack ».

In generale, in questo procedimento, si usano tre pellicole (v. fig. 74), due colle emulsioni a contatto, come nel « bipack » e la terza coll'emulsione a contat todel supporto della seconda. Il monocromo rosso (da stampare in verde-azzurro) viene ripreso su film pancromatico; il monocromo verde (da stampare in rosso magenta) viene ripreso su film ortocromatico, e il monocromo blu (da stampare in giallo) viene ripreso su pellicola ordinaria.

Il sistema stereotipico Bocca-Rudatis

Abbiamo ritenuto opportuno di trattare separatamente e con qualche ampiezza questo importantissimo e geniale procedimento italiano, perchè esso si distacca e si differenzia, nettamente, sia come principio, sia come perfezione, da quanto è stato realizzato sino ad oggi.

Trarremo le nostre conclusioni in seguito, dopo avere spiegato il fondamento teorico e la pratica realizzazione del sistema, così come essi ci sono stati chiariti e dimostrati dagli inventori stessi.

Gli inventori hanno denominato *stereotipico* questo loro geniale procedimento, ma se questa qualifica è esatta in linea generica, non chiarisce però il principio su cui il sistema si fonda. In sostanza, il *Bocca - Rudatis* è un sistema *a elementi lenticolari modulati rifrangenti*, nel senso che le infinite variazioni delle tonalità cromatiche vengono fissate sul film mediante infinite variazioni di forma, orientamento e dimensioni (variazioni *stereometriche*, secondo gli inventori) di elementi lenticolari incisi sulla pellicola. Diciamo subito, però, che questo sistema non ha nulla a che vedere coi sistemi lenticolari già noti; in questi il reticolo lenticolare viene inciso in precedenza sul film vergine, e i suoi elementi sono regolari e costanti e hanno uno scopo ottico-fotografico ben determinato: nel sistema *Bocca-Rudatis* gli elementi si creano sul film in funzione delle variazioni cromatiche e hanno una funzione esclusivamente ottica.

Supponiamo di avere ottenuto, mediante l'impiego di una normale macchina da presa tricromica, i tre monocromi rosso, verde e blu di un'immagine policroma. Supponiamo ora di stampare otticamente i tre monocromi, successivamente o contemporaneamente, ma sempre in perfetta coincidenza dei contorni, sopra una pellicola ricoperta di uno strato sensibile da svilupparsi per spogliamento, per esempio, di

gelatina al bicromato. Se si dispongono le cose in modo da effettuare questa stampa attraverso a tre reticoli, corrispondenti ciascuno a due dei monocromi e diversamente orientati, si otterrà sul film, a spogliamento ultimato, una serie di elementi lenticolari in rilievo, di cui la forma, le dimensioni e l'orientamento saranno funzione della tonalità cromatica somma dei tre monocromi nel punto considerato, e perciò funzione anche della tonalità cromatica del punto corrispondente del soggetto.

Ciascuno degli elementi lenticolari così ottenuti possiede caratteristiche ottiche proprie, vale a dire devierà i raggi luminosi che lo colpiscono, secondo leggi ben determinate; un raggio di luce bianca proveniente, per esempio, dalla lanterna del proiettore, verrà convogliato verso l'antistante obiettivo da proiezione non più parallelamente all'asse ottico, ma secondo un angolo che è, come dicemmo, funzione delle caratteristiche ottico-geometriche dell'elemento lenticolare che esso deve attraversare. Si viene così a stabilire una corrispondenza univoca fra le caratteristiche cromatiche del punto del soggetto e la deviazione di rifrangenza del corrispondente punto dello stereotipo.

Tutti i fasci emergenti dallo stereotipo e più o meno deviati passano attraverso all'obiettivo da proiezione e vengono da questo convogliati sullo schermo, situato come al solito, nel piano coniugato del piano del fotogramma rispetto all'obiettivo. Si noti che, nei punti dello stereotipo privi di elementi lenticolari, che corrispondono alle ombre, la luce non viene rifratta e prosegue perciò il suo cammino normale raccogliendosi nel fuoco dell'obiettivo.

Lo stereotipo si presenta completamente trasparente; le dimensioni attuali degli elementi rifrangenti sono all'ordine di grandezza di 4 μ (62.500 elementi per millimetro quadrato), ma gli inventori ritengono, con una perfetta messa a punto meccanica, di poter salire fino a 300.000 elementi per millimetro quadro.

Proiettando in modo normale un fotogramma stereotipico, lo schermo resta perfettamente bianco; infatti tanto i fasci non deviati quanto quelli rifratti giungono allo schermo senza essere intercettati da nessun elemento. Se però, nel punto focale dell'obiettivo si colloca un dischetto opaco, che raccolga i raggi non deviati, corrispondenti — come abbiamo visto — alle parti dello stereotipo prive di elementi rifrangenti, e cioè alle ombre del soggetto, si vedrà immediatamente formarsi sullo schermo l'immagine in bianco e nero. Questo risultato è logico, in quanto il dischetto centrale sottrae allo schermo i raggi

non deviati, corrispondenti alle ombre, mentre gli altri giungono a destinazione seguendo un cammino periferico.

Si è ripetutamente detto che ogni raggio proveniente dal proiettore, incontrando un elemento rifrangente, viene deviato e decomposto, direzionalmente, quantitativamente e qualitativamente secondo una corrispondenza univoca esistente fra l'elemento colpito e le caratteristiche cromatiche del punto corrispondente del soggetto. Avviene cioè che tutti i raggi rossi, tutti i verdi e tutti i blu risultanti da questo fenomeno di rifrazione verranno a giacere in piani passanti per l'asse ottico del sistema e facenti fra di loro angoli che sono evidentemente funzione, fra l'altro, della posizione dei reticoli usati nella trasformazione dei monocromi nello stereotipo originale (v. fig. 75). Se ora si dispone, nel piano focale anteriore dell'obiettivo, un filtro costituito da tre striscie trasparenti colorate nei tre colori fondamentali (v. fig. 76) intersecanti a lor volta i tre piani nei quali sono raccolti i raggi monocromi emergenti dallo stereotipo, avverrà che questi raggi giungeranno sullo schermo colorati secondo le caratteristiche cromatiche del punto da riprodurre. Si avrà cioè sullo schermo l'immagine colorata. Naturalmente le leggi fisico-matematiche che governano questo procedimento sono molto complesse, come pure i fenomeni di semplice rifrazione sono accompagnati da fenomeni secondari non meno complessi di diffrazione, interferenza, ecc.

FIG. 75. — *Schema di un reticolo stereotipico a elementi rifrangenti del sistema* Bocca-Rudatis

FIG. 76. — *Filtro* Bocca-Rudatis

La fig. 77 dà un'idea schematica, elementare e approssimativa del funzionamento di questo sistema. Non è il caso di addentrarsi qui nello studio teorico di questo importantissimo procedimento: bastino al lettore questi pochi cenni per formarsi un'idea generale del principio su cui esso si basa.

Passiamo ora ad esaminare le caratteristiche principali ed i vantaggi del sistema *Bocca-Rudatis*.

Sulla base di quanto abbiamo esposto risulta anzitutto che, mentre nei diversi sistemi di cinematografia a colori finora attuati, si ha una modulazione chiaroscurale fotografica dell'immagine (sistema *Berthon, Keller-Dorian, Agfacolor, Kodacolor, Siemens*) ovvero l'immagine stessa è colorata (sistema *Technicolor, Kodachrome, Nuovo Agfacolor*) ovvero ancora la pellicola porta un reticolo colorato secondo il principio ben noto dell'autocromia (sistema *Dufaycolor*), nel sistema *Bocca-Rudatis* l'immagine risulta perfettamente trasparente consistendo essa soltanto di microscopici rilievi impressi sul supporto di celluloide, cellophan, e sostanze simili. In tal modo l'immagine viene svincolata dalla modulazione fotografica che caratterizza e limita gli altri sistemi,

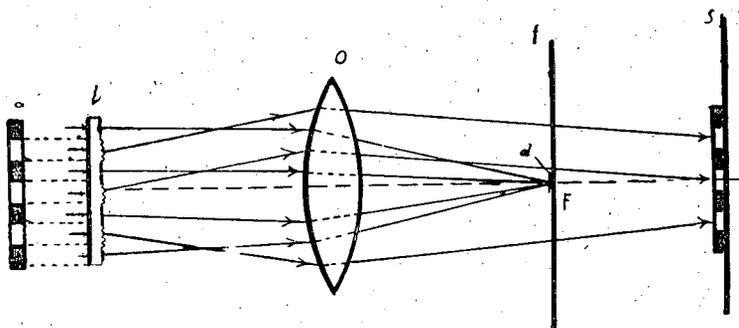



FIG. 77. — *Schema del procedimento* Bocca-Rudatis

a rappresentazione schematica di un monocromo in bianco e nero
b monocromo trasformato in stereotipo (i neri non danno modulazione stereotipica)
o obiettivo da proiezione
f filtro tricromico
F fuoco princ. dell'obiettivo
d dischetto opaco
S schermo

e si rende possibile una resa cromatica artisticamente di gran lunga superiore, nella quale l'intervento personale, durante la stampa, può applicarsi pressochè illimitatamente.

È infatti evidente che, in sede di trasformazione dei monocromi in elementi stereotipici, un intervento sulla entità degli elementi corrispondenti a un monocromo consente una modulazione dell'elemento cromatico relativo al monocromo stesso. In particolare questo intervento rende possibile la regolazione selettiva di ogni colore fino alla trasmutazione graduale di tutti i colori, conservando o meno i rapporti d'intensità a piacere.

In quanto i colori vengono formati sullo schermo con miscele di luci colorate, il sistema *Bocca Rudatis* dovrebbe essere definito un sistema additivo. Ma da questi sistemi si distacca nettamente poichè non ot-

tiene il *bianco* soltanto come addizione dei colori fondamentali, addizione che caratterizza tutti i sistemi addittivi, ma che costituisce il loro punto debole, comportando una gravissima perdita di luminosità nel confronto dei sistemi sottrattivi, in cui il *bianco* è invece rappresentato dalla luce diretta del proiettore non filtrata. Nel sistema *Bocca-Rudatis* il bianco è ottenuto addittivamente dalla somma dei colori fondamentali e, *nello stesso tempo*, con sovrapposizione di luce diretta. Si ha così un superiore rendimento luminoso. Tutti i sistemi addittivi vengono lasciati a grande distanza, senza eccezione alcuna. Con una perfetta messa a punto il rendimento luminoso del sistema *Bocca-Rudatis* può essere valutato circa dieci volte superiore al *Siemens*. Ciò significa che esso, anche sotto questo punto di vista, può sostenere il confronto coi più luminosi sistemi sottrattivi (*Technicolor*) precisamente in quegli elementi tecnici che ne hanno costituito l'attuale superiorità pratica.

In conseguenza del carattere stereotipico dell'immagine il sistema *Bocca-Rudatis* possiede delle prerogative assai originali. La produzione delle copie è grandemente semplificata nei confronti sia dei sistemi sottrattivi che dei sistemi addittivi, con vantaggi economici la cui importanza è evidente. Non trattandosi più di un'immagine fotografica ma stereotipica, scompare il processo negativo-positivo proprio della fotografia. Le copie si ottengono per *impressione meccanica*, ed ogni copia usata come matrice fornisce altre copie identiche. La produzione delle copie diventa così rapida, facile e sicura, e fornisce risultati la cui sostanza è necessariamente molto superiore a quella relativa ai processi fotografici in generale.

L'immagine stereotipica può avere il formato normale, cioè consta di fotogrammi di formato standard, e non presenta quindi nessuno degli inconvenienti dei sistemi che sovrappongono sullo schermo immagini diverse. La proiezione avviene con velocità normale e in condizioni normali, salvo l'aggiunta del filtro speciale e di un condensatore adeguato. La presa resta parimenti una normale presa bicroma, tricroma o quadricroma, a seconda che si voglia lavorare con due, tre o quattro colori fondamentali. Mancando la grana fotografica si riduce lo scintillio e sparisce del tutto il brulichio il quale costituisce, come è noto, un inconveniente particolarmente grave nei sistemi con reticolo colorato. Col sistema *Bocca-Rudatis* sono escluse altresì le frange colorate tanto nelle zone a *fuoco* quanto nelle zone *fuori fuoco*.

È oltremodo importante, per rendersi conto esattamente del rendimento del sistema *Bocca-Rudatis* dal punto di vista della nitidezza

e valutare le qualità tecniche dell'immagine, considerare il fatto che l'immagine stereotipica possiede un numero di rilievi enormemente più elevato di qualsiasi sistema reticolare, non solo, ma che la grandezza di tali rilievi può essere portata ancora al disotto della grana delle emulsioni fotografiche. Mentre infatti nei sistemi reticolari tipo *Siemens* si hanno circa *trenta* elementi lenticolari cilindrici per millimetro, le immagini stereotipiche del sistema *Bocca-Rudatis* finora realizzate, posseggono oltre *cinquantamila* elementi rifrangenti per *millimetro quadrato*. Immagini stereotipiche con 67.500 elementi rifrangenti per millimetro quadrato sono state ottenute senza speciali difficoltà e, con una perfetta messa a punto meccanica, si deve poter arrivare à 300.000 e più elementi rifrangenti per mmq. Ciò permette di superare ogni altro sistema non soltanto in fatto di nitidezza, ma ancora come discriminazione e modulazione cromatica, poichè gli elementi rifrangenti dell'immagine stereotipica compiono nella proiezione uno spostamento delle radiazioni luminose che è tanto più perfetto e ricco quanto più perfetti e numerosi sono gli elementi rifrangenti. L'immagine sullo schermo risulta tanto meglio modulata e ricca di tonalità, quanto più raffinata è la struttura dell'immagine stereotipica, raffinatezza che nei termini ora specificati appare evidentemente elevatissima.

A caratterizzare l'originalità del sistema *Bocca-Rudatis* e a differenziare totalmente il sistema stesso dai sistemi lenticolari, come il *Siemens*, valgono alcuni rilievi fondamentali. Nei sistemi a reticolo lenticolare la pellicola porta impresso un reticolo uniforme che in proiezione permette di colorare l'immagine fotografica esistente insieme sulla pellicola. Nel sistema *Bocca-Rudatis*, a parte l'estrema finezza degli elementi rifrangenti, questi non costituiscono un reticolo uniforme ma sono diversi da punto a punto dell'immagine, cioè costituiscono essi propriamente una specialissima immagine: *l'immagine stereotipica.* In proiezione tale immagine smista la luce conformemente ai diversi colori dando origine sullo schermo ad una *immagine cromatica a chiaroscuro negativo*, vale a dire ad un'immagine che è bianca dove in realtà si trova il bianco ed anche dove in realtà si ha il nero, ossia una immagine di puro colore. Per avere un'immagine perfetta del vero occorre naturalmente intercettare tutta la luce corrispondente alle ombre. Ma le ombre nella immagine stereotipica sono caratterizzate dalla deficienza o totale mancanza di elementi rifrangenti, cosicchè in corrispondenza delle ombre la luce non viene rifratta e si raccoglie nel fuoco dell'obbiettivo dove, come abbiamo visto, può essere intercettata a volontà. Questa intercetta-

zione della luce si può fare anche con l'aggiunta di una immagine in bianco e nero. Comunque risalta il fatto essenziale che i valori cromatici e i valori chiaroscurali vengono in tal modo separati nella loro stessa generazione. Ciò offre la possibilità di regolare indipendentemente gli uni e gli altri, così come un pittore lavora differenziando i colori dal bianco e dal nero, con possibilità artistiche cui gli altri sistemi non arrivano, non possedendo tale indipendenza e ricchezza di regolazioni.

Va rilevato ancora che l'immagine stereotipica, oltre che fornire immagini a colori in proiezione con tutti i vantaggi accennati, può servire anche a proiettare immagini in bianco e nero. Questa possibilità esiste pure nei riguardi del film su pellicola lenticolata, come nel sistema *Siemens*, poichè si parte da una immagine fotografica, ma il risultato è scadente

L'immagine stereotipica del sistema *Bocca-Rudatis*, data la straordinaria finezza dei rilievi, fornisce invece immagini in bianco e nero dotate di molte prerogative, tra le quali vanno ricordate una perfetta nitidezza ed una grande luminosità. L'immagine stereotipica fornisce infatti proiezioni in bianco e nero notevolmente più luminose delle normali proiezioni in bianco e nero, a parità, si capisce, di condizioni di proiezione. Questa significativa superiorità può avere evidenti conseguenze pratiche. Con l'immagine stereotipica sussiste sempre, anche proiettando in bianco e nero, la possibilità d'influire largamente sul carattere dell'immagine. Per proiettare in bianco e nero una qualsiasi immagine stereotipica basta semplicemente togliere il filtro usato nella proiezione a colori, il cui adattamento è in ogni caso una operazione del tutto elementare.

Abbiamo avuto il privilegio di essere tra i primi ad assistere alla proiezione d'immagini stereotipiche secondo questo genialissimo sistema italiano di cinematografia a colori.

Benchè la presa, la trasformazione in stereotipi e la proiezione fossero state fatte con mezzi assai modesti e talvolta primitivi, abbiamo potuto constatare, nel modo più evidente, una incomparabile superiorità di finezza d'immagine e di ricchezza della tavolozza, su *tutti* gli altri sistemi, non esclusi quelli già in sfruttamento industriale, i cui prodotti ultimi furono ottenuti o con mezzi tecnici perfettissimi e dispendiosissimi.

Ci hanno colpito inoltre la brillantezza e la plastica delle immagini in bianco e nero ottenibili con questo sistema, mediante la semplice eliminazione del filtro colorato.

Ci ha meravigliato la grande luminosità dell'immagine.

Ci ha entusiasmato la facilità colla quale è possibile intervenire nella resa cromatica, variando, anche durante la proiezione, il tono e l'ambientazione coloristica del soggetto.

Non esitiamo a dichiarare in piena coscienza che questo sistema italiano è destinato a dominare intieramente il settore mondiale della cinematografia a colori.

Fondamenti tecnici della presa a colori

La conoscenza dei principii teorici e dei vari sistemi di cinematografia a colori ci consente di stabilire fin d'ora con chiarezza quali possano essere i fondamenti tecnici della ripresa.

Gli elementi di cui bisognerà tener conto per lo studio di questi fondamenti sono essenzialmente i seguenti:

1. - *il colore del soggetto;*

2. - *l'illuminazione del soggetto;*

3. - *l'adattamento dei primi due elementi al sistema che s'impiega.*

Per quanto riguarda il *colore del soggetto,* evidentemente i casi sono due: il soggetto è naturale, e in tal caso i suoi colori non possono essere modificati; o il soggetto è artificiale, e in tal caso i suoi colori possono essere scelti in modo da dare — attraverso il processo scelto — i risultati che si desiderano.

In ogni caso è però necessario fare una premessa.

Allo stato attuale delle cose, non è possibile dare regole fisse per la presa a colori, perchè esse sono variabilissime, non solo secondo le circostanze, ma sopratutto secondo il sistema che si adopera e i risultati che si vogliono ottenere. Il lettore, giunto a questo punto, ha acquisito una conoscenza della materia che gli consente di rendersi conto delle enormi diversità di caratteristiche — perciò anche d'impiego — che passano fra i diversi sistemi. Qui non ci si trova, come nella registrazione sonora, dinnanzi a sistemi che, in pratica, si equivalgono e che richiedono una tecnica di presa press'a poco identica per tutti i sistemi; in cinematografia a colori i vari procedimenti, specie se appartengono a gruppi diversi, ma anche quando fanno parte d'uno stesso

gruppo, differiscono così profondamente da non consentire l'enunciazione di regole fisse, valevoli per tutti i casi.

Si possono invece indicare le caratteristiche dei vari elementi di impiego (sorgenti luminose, film, filtri, ecc.) in modo da poterle esattamente conoscere e quindi adattare al sistema prescelto.

Cominceremo perciò dalle *sorgenti luminose.*

Com'è noto, le lampade impiegate nella ripresa cinematografica possono essere *a incandescenza, ad arco o a vapore di mercurio o ad altri gas rarefatti.*

Per giudicare della bontà di una determinata sorgente luminosa nei riguardi della presa a colori, occorre anzitutto tener conto della composizione spettrale della luce che essa emette. Quanto più essa si approssima a quella della luce solare, tanto più adatta essa sarà alla ripresa, e tanto meno sarà necessario ricorrere a correttivi.

Ora è noto che la composizione spettrale dipende in buona parte dalla temperatura; questa, con archi del tipo ad alta intensità, o del tipo solare, raggiunge i 5400°K. e non è lontana nella sua composizione, da quella solare a mezzogiorno. Naturalmente le intensità luminose sono ben diverse. Per ottenere un effetto fotografico uguale a quello del sole occorrono, alla distanza di 6 m., 14 archi da 150 A., 16 da 140 A., ovvero 18 da 130 A. Se poi diminuiamo le intensità degli archi e aumentiamo le distanze queste cifre debbono essere all'incirca decuplicate. Occorrono infatti allora 88 archi da 110 A., 123 da 90 A., 150 da 80 A. e 200 da 70 A.

L'effetto fotografico è anch'esso assai diverso. Se indichiamo con 9,5 quello della luce solare nei mesi di maggio e giugno, si avrà che quello della stessa luce in ottobre e novembre è di 8,2, mentre l'effetto di un arco solare con carboni ad alta intensità di 16 mm. di diametro è soltanto 2,7 con 82 V. 150 A., e si riduce a 2 quando la tensione scende a 76 V. e l'intensità a 130 A.

Tuttavia le lampade ad arco, che nei teatri di posa sono state largamente sostituite con lampade a incandescenza in gas neutro (lampade *nitra* e similari), vanno riprendendo il loro posto, anzi il loro predominio, grazie in particolare alla cinematografia a colori. Si usano sopratutto archi ad alta intensità, con carboni animati e rivestiti di rame, con dispositivo di avanzamento automatico capace di garantire l'assoluta costanza dell'intensità di luce. Essi assorbono in generale un'intensità di 40 A. per arco e dànno una luce analoga, come composizione, a quella di un arco da 13,6 mm. per proiezione a 125 A.

I produttori americani di film a colori, che lavorano quasi esclusivamente con il *Technicolor*, richiedono a questi archi un'intensità di 200 candele-piede, misurate a 15 piedi di distanza con un fotometro Weston. La curva isofota (distribuzione angolare dell'intensità luminosa) di queste lampade dev'essere piuttosto piatta entro un angolo di circa 60°, e sopratutto deve avere un andamento uniforme, senza punti di concentrazione o di abbassamento. In altre parole, l'illuminazione dev'essere per quanto è possibile morbida, diffusa e uniforme.

Anche le *lampade a incandescenza* possono trovare utile impiego nella cinematografia a colori. Se però esse sono impiegate alla tensione normale, vale a dire quella tensione che ne garantisce la massima durata, la luce emessa risulta di composizione spettrale molto inadatta.

La composizione spettrale della luce di una lampada *nitra* a tensione normale è, all'incirca la seguente:

radiazioni di onda lunga (rosso, arancione, giallo)	60 %
radiazioni di onda media (verdi)	27 %
radiazioni di onda corta (azzurro e violetto) . .	13 %

Come si vede, si ha un eccesso di rosso, di arancione e di giallo, che turba sino dall'inizio l'equilibrio cromatico del processo.

È però possibile modificare, almeno in parte, questo squilibrio, facendo lavorare le lampade ad una tensione superiore a quella normale. È vero che in tal modo la durata della lampada viene enormemente ridotta (15-18 ore di accensione), ma la percentuale di raggi d'onda corta viene aumentata di circa il 140 per cento.

Anche queste lampade, montate, come quelle ad arco, in riflettori speciali — tra i quali vanno ricordati i tipi Mole-Richardson — vengono usate per la ripresa a colori usando tuttavia un filtro (Wratten 78) che serve ad equilibrare ancora meglio la composizione spettrale. Ma anche per le lampade ad arco si usa un filtro alla gelatina, di color paglierino chiaro, per assorbire circa il 20 per cento delle radiazioni attiniche di onda corta.

In generale le case americane adoperano lampade ad arco per l'illuminazione orizzontale e per quella verticale, nonchè per gli *spots* e per l'illuminazione di rovescio; le lampade per effetti sono invece a filamento e di due tipi da 10.000 e da 2.000 Watt.

Le lampade *a vapore di mercurio*, e quelle a gas rarefatti sono inadatte alla presa a colori, a causa della incompleta composizione della luce emessa.

Quanto abbiamo esposto sinora circa le caratteristiche dei vari tipi d'illuminazione ci porta facilmente ad alcune considerazioni nei riguardi della presa a colori in generale.

Si abbia dunque un teatro di posa illuminato, per esempio, con lampade ad arco e con lampade a incandescenza. I filtri di gelatina e i Wratten 78 hanno evidentemente lo scopo di avvicinare quanto più possibile l'illuminazione a incandescenza a quella della luce solare, sulla cui composizione sono basati gli studi della riproduzione a colori e a cui si riferiscono le sensazioni cromatiche visive.

Le emulsioni sensibili e i filtri tricromici sono tarati sulla luce solare; ma non è detto che l'effetto che si vuol ottenere sia sempre quello della luce solare. Può avvenire che, per esempio, per un interno, si voglia avere l'effetto di una illuminazione più calda; basterà illuminare ad incandescenza la scena e servirsi del gruppo dei filtri tricromici per luce solare. L'illuminazione sarà fedelmente riprodotta nelle sue tonalità calde. Se invece la scena è illuminata con lampade a incandescenza, ma si vuole ottenere l'effetto come se essa fosse illuminata dal sole, si dovrà far uso dei filtri tricromici per luce a incandescenza compensati per luce solare.

Usando invece luce a incandescenza con filtri tricromici normali e un Wratten 86 si otterrà un effetto d'illuminazione interna analoga a quella emessa da candele o da lampade di debole intensità (gas, ecc.).

Per le scene illuminate esclusivamente con archi ad alta intensità basterà far uso degli schermi paglierini di cui abbiamo parlato più sopra. Volendo ottenere effetti più caldi si useranno filtri più intensi che assorbano una maggiore quantità di raggi d'onda corta.

IL PROCESSO POSITIVO E LE COMPENSAZIONI CROMATICHE

Nel corso dell'esposizione dei vari sistemi abbiamo già diffusamente parlato dei relativi processi positivi, che, nella grande maggioranza dei casi, fanno parte integrante del sistema, da cui è difficile scinderli. Il lettore può ora rendersi conto che, in quasi tutti i procedimenti, il processo positivo può consentire notevoli modificazioni dei

risultati, in modo non dissimile da quanto avviene nei processi in bianco e nero. E questo ha grande importanza ai fini estetici delle riprese a colori, perchè offre all'artista — sia pure entro determinati limiti — la possibilità di modificare l'opera d'arte secondo i suoi concetti personali. Non descriveremo perciò qui i sistemi positivi propriamente detti, ma ci limiteremo ad accennare, pei vari sistemi, i modi nei quali si può influire sui risultati, specialmente dal punto di vista cromatico.

Nei sistemi *addittivi a immagini multiple* il risultato cromatico può essere variato in diversi modi. Anzitutto è possibile modificare, alla presa, l'intensità e la tonalità dei filtri, e, in certi apparecchi a obiettivi multipli, i dati di apertura degli obiettivi, in modo da variare le intensità dei singoli monocromi. Quando questi sono ripresi su pellicole separate si può, in sede di sviluppo o di stampa, variare l'intensità con criteri analoghi a quelli applicabili alla presa. Questo secondo sistema è certamente più consigliabile, specialmente quando possa sussistere incertezza sul risultato.

Nella proiezione si potrebbe, almeno teoricamente, intervenire con filtri supplementari da inserire in determinati momenti; ma la cosa non è facilmente realizzabile in pratica. Nei sistemi, invece, nei quali, anzichè usare filtri colorati di proiezione, si colora il supporto, come nel sistema modificato *Gualtierotti* e nel sistema tricromico *Hérault*, si può modificare la tonalità dei colori in sede d'imbibizione del positivo.

I *sistemi a reticolo*, siano essi policromici o lenticolari, non consentono, in genere, compensazioni cromatiche. Fa eccezione, come abbiamo visto, il procedimento di stampa del sistema *Berthon-Siemens*. Il processo d'inversione, al quale essi sono generalmente legati, è molto rigido, e, in ogni modo, non permette d'intervenire sui monocromi separatamente. È tuttavia possibile usare, volta per volta, filtri compensati che tengono conto dei colori dominanti nel soggetto o nella luce d'illuminazione, e che possono anche essere impiegati per ottenere determinati effetti. Ma, evidentemente, questo fa parte del processo negativo e non di quello positivo.

Tra i *sistemi sottrattivi*, quelli che meglio si prestano a intervenire nelle qualità coloristiche della copia sono quelli che si servono di procedimenti d'imbibizione o di stampa per matrici. Nonostante le difficoltà pratiche inerenti a questi sistemi, sopratutto nei riguardi del perfetto combaciamento delle immagini, difficoltà oggi superate grazie a perfettissime macchine stampatrici, questi sistemi offrono inestimabili vantaggi, fra cui non ultimo quello di poter stampare il posi-

tivo in modo indipendente da qualsiasi automatismo tecnico. Se poi la ripresa è fatta con apparecchi che consentono un bilanciamento cromatico sui monocromi, il realizzatore avrà a sua disposizione una ampia latitudine per ottenere gli effetti desiderati.

Parlando altrove del *Technicolor* abbiamo accennato che, in questo sistema, dopo esser passati dall'impiego diretto dei monocromi di gelatina imbibita, cementati fra loro (procedimento che portava gravi inconvenienti dovuti al maggior spessore finale della copia, a fenomeni di slittamento, di restringimento e di allungamento per effetto di fattori esterni, anche usando supporti di materiale detto irrestringibile) all'uso di matrici per stampa, si è recentemente adottato l'impiego di un quarto monocromo, grigio, tendente a dare maggiore nitidezza ai contorni e maggior plastica all'immagine. Benchè manchino dati precisi al riguardo, si ritiene che il « corpo grigio » non si ottenga impiegando un monocromo d'argento ridotto, sia pure debole, ma stampando in una tinta leggera di color grigio neutro uno dei tre monocromi, e probabilmente quello da stampare anche in blu. Quest'aggiunta consente d'intervenire notevolmente sul risultato finale, anche se, teoricamente almeno, essa dovrebbe far perdere alquanta vivezza e naturalezza ai colori.

È naturalmente molto difficile prevedere oggi quali potranno essere gli sviluppi tecnici e i progressi dei vari procedimenti; ma non è improbabile che non si giungerà mai a riunire in un solo sistema i vantaggi di tutti gli altri. Anzi, si può prevedere che parecchi sistemi rimarranno, e ciascuno avrà una caratteristica, uno stile proprio.

Restando nell'ambito del problema che forma oggetto di questo capitolo, dobbiamo riconoscere che, almeno dal punto di vista di un severo esame preventivo teorico, il sistema preconizzato dall'italiano Roncarolo, al quale abbiamo più volte accennato nel corso del nostro studio, è fra quelli comunemente noti, ed eccezione fatta per il procedimento *Bocca-Rudatis,* quello che offre il massimo numero di « registri » a disposizione del realizzatore. Esso riunisce infatti tutti i vantaggi che hanno, nella presa, i sistemi a blocco partitore, obiettivi multipli e monocromi separati; nel processo positivo i vantaggi dei sistemi a stampa con matrici ottenute direttamente dai monocromi originali.

Gli stessi tecnici del *Technicolor* hanno rinunziato agli obiettivi multipli e anche alla ripartizione in tre del fascio uscente dall'obbiettivo unico, ed hanno preferito ricorrere a un semplice sdoppiamento con un « bipack » da un lato e un film semplice dall'altro. Forse ciò

è dovuto al timore d'un'eccessiva perdita di luminosità, ma questo difetto è certamente minore di quello del « bipack », di dare uno dei monocromi con nitidezza insufficiente, per effetto dell'impressione di uno dei due film a contatto attraverso l'altro film.

Tuttavia, secondo notizie recentissime, anche i tecnici della Società *Technicolor* stanno studiando, e pare con successo, la possibilità di servirsi di un sistema a negativo unico triemulsionato, di tipo analogo al *Kodrachrome* e all'*Agfacolor-Neu*. Ciò significa che, alla stregua dei fatti, la semplificazione del procedimento ha una importanza tale, sopratutto dal punto di vista economico, da superare anche i vantaggi di perfezione che sono caratteristici dei sistemi più complessi e più costosi.

Il lettore ricorderà certamente la differenza considerevole esistente fra il procedimento *Agfacolor-Neu* e il *Kodachrome*; quest'ultimo è assai più complesso, ma offre il vantaggio di poter intervenire, nel senso della compensazione cromatica, nel processo di colorazione di ciascun monocromo del film triemulsionato. Un tale intervento non è possibile nell'*Agfacolor-Neu*. Si ricorderà pure quanto dicemmo circa la stampa dei positivi da un controtipo a colori complementari; è probabile che i tecnici della *Technicolor*, seguendo da vicino il procedimento Kodak, abbiano potuto realizzare un trattamento, tanto del negativo quanto del positivo, tale da consentire un utile intervento nella determinazione del colore di ciascuno dei monocromi del film triemulsionato. Si avrebbero così i vantaggi inerenti al film unico, senza rinunciare a quelli dei procedimenti a tre negativi separati.

Pressochè illimitate sono invece le possibilità d'intervento nel sistema stereotipico *Bocca-Rudatis*, e già ne abbiamo accennato nel capitolo dedicato a questo procedimento.

LA PROIEZIONE DEL FILM A COLORI

L'elemento basilare, o meglio, il punto fisso di partenza della cinematografia a colori è la luce solare, colla sua caratteristica composizione spettrale.

I colori che appaiono sullo schermo sono evidentemente il risultato d'una sintesi, addittiva o sottrattiva, alla quale viene sottoposta la luce emessa dalla lampada da proiezione e filtrata o attraverso i bianchi e i neri del positivo e i filtri di proiezione (nei sistemi addittivi) o at-

traverso i vari punti colorati del film (nei sistemi sottrattivi). Ne consegue che la composizione spettrale della luce emessa dal proiettore ha un'enorme influenza sul risultato coloristico sullo schermo.

Uguale importanza ha naturalmente anche il colore dello schermo.

Facciamo per un momento astrazione da quest'ultimo.

La luce ideale per la proiezione del film a colori deve avere una composizione analoga a quella della luce solare. Ora, nei proiettori, le lampade impiegate sono o del tipo ad arco o del tipo a incandescenza.

La luce dell'arco abbonda di raggi di onda corta, azzurra e violetta e difetta di raggi a onda lunga e media. Si potrebbe correggere questo squilibrio filtrando la luce con uno schermo giallo che assorba una parte dell'eccesso di raggi d'onda corta; questo ripiego è stato proposto e anche adottato in qualche caso, ma presenta il grave inconveniente di assorbire energia luminosa e di non aggiungere le componenti mancanti di onda corta e media. Si è perciò preferito ricorrere all'impiego di carboni speciali capaci di dare una luce di composizione adatta, quasi perfettamente bianca e corrispondente ad una temperatura di circa 5000° Kelvin.

Non si richiamerà mai abbastanza l'attenzione dei tecnici sull'enorme importanza che una buona composizione spettrale della luce di proiezione ha sulla tonalità dei colori sullo schermo. Purtroppo sembra ancora che non tutti siano persuasi di questa ovvia verità; ma basterà una breve riflessione per rendersene pienamente conto. Supponiamo infatti di servirci d'una luce d'arco normale, ricca di raggi blu e violetti e povera di rossi e di gialli. Ciascun punto del film (in processi sottrattivi) funge da filtro di questa luce; un punto colorato in azzurro verdastro lascierà passare, quantitativamente, molta più luce (che è principalmente costituita di raggi blu e violetti), che non un punto colorato in giallo e di uguale trasparenza percentuale per una luce bianca, e ciò perchè nella luce che lo colpisce c'è poco rosso e verde — colori per cui il giallo è trasparente — e molto blu e violetto, colori per cui il giallo è opaco. Basterà questa semplice osservazione per convincersi che una siffatta luce di proiezione, non solo modifica le tonalità cromatiche dei vari elementi dell'immagine, ma incide irregolarmente sull'intensità luminosa dei singoli punti.

Un ragionamento analogo può essere fatto anche per i sistemi a sintesi addittiva, nonchè per le lampade a incandescenza, che presentano difetti simili, benchè in senso opposto, a quelli delle lampade ad arco normali.

* * *

Per la proiezione a colori *occorre anche un'intensità luminosa considerevolmente maggiore* di quella necessaria per la comune proiezione in bianco e nero. Gli assorbimenti variano moltissimo secondo il sistema: essi sono massimi per i film a superficie lenticolare; seguono i sistemi addittivi, per ultimi i sottrattivi.

Nei sistemi addittivi, come si è più volte detto, i bianchi sono formati dalla sintesi addittiva dei fasci luminosi emergenti contemporaneamente dai tre filtri e sovrapponentisi sullo schermo. Ora le intensità luminose dei tre fasci sono ridotte ciascuna ad un terzo, per effetto dell'assorbimento del filtro: il bianco che ne risulta è quindi praticamente un grigio d'intensità 1/3 del bianco naturale. Si noti però che, nella proiezione in ambiente oscurato, questo grigio appare abbastanza bianco, per mancanza di altro riferimento e per il noto effetto di contrasto.

Da quanto si è detto deriva che, in teoria almeno, per avere sullo schermo, per via di sintesi addittiva, dei bianchi di luminosità all'incirca uguale a quella che si avrebbe in una proiezione in bianco e nero, occorrerebbe disporre di una sorgente luminosa d'intensità tripla di quella normale. In pratica si ritiene che un aumento del 100 per cento dell'intensità luminosa sia indispensabile per una buona proiezione con sintesi addittiva.

Pei sistemi addittivi a elementi lenticolari le esigenze di luminosità sono ancora maggiori. In questi sistemi, gli assorbimenti proprii della sintesi addittiva e ai quali abbiamo accennato qui sopra, si aggiungono imponenti fenomeni di diffusione per effetto del reticolo lenticolare, nonchè ulteriori assorbimenti dovuti al maggior spessore del supporto di celluloide o di acetato di cellulosa e anche alla maggiore intensità dell'immàgine. Si calcola che la luminosità occorrente per avere sullo schermo la stessa brillantezza d'immagine sia all'incirca dècupla di quella necessaria per la proiezione in bianco e nero. Come minimo accettabile si ammette una potenzialità quintupla.

Nei sistemi sottrattivi ogni punto del film risulta teoricamente trasparente in rapporto alla sua luminosità originale. I bianchi sono perfettamente trasparenti; e nei punti colorati si può ritenere si abbia un assorbimento medio di circa 1/3. Un aumento del 30-40 per cento dell'intensità luminosa normale è sufficiente per dare buoni risultati alla proiezione.

Nei sistemi addittivi (ad eccezione di quelli lenticolari, pei quali occorre l'aggiunta di un semplice filtro di proiezione) il proiettore deve essere munito di un sistema ottico capace di far convergere e sovrapporre sullo schermo le tre immagini monocrome. Abbiamo già accennato alle difficoltà pratiche che si frappongono all'ottenimento perfetto di questo risultato, difficoltà che non sono tanto di ordine ottico, quanto meccanico e dovute principalmente alla mancanza di assoluta corrispondenza dei punti corrispondenti dei tre fotogrammi sulle tre pellicole, o dei tre fotogrammi parziali sul fotogramma complessivo della pellicola unica. È precisamente in questi punti deboli (sintesi addittiva insufficiente e difficoltà di assoluta, continua sovrapposizione delle immagini) che i sistemi addittivi, più semplici, hanno sinora dovuto cedere il passo ai sistemi sottrattivi; più complessi, ma più precisi.

Perchè non bisogna dimenticare che la complessità nel campo della ripresa o della stampa può essere ammissibile, mentre non lo può essere qualsiasi ostacolo nel campo della proiezione, che deve, in ogni caso, restare semplice e assolutamente sicura.

Lo *schermo*, ha pure una grande importanza nella proiezione a colori; ma questa importanza non si limita soltanto all'influenza che il suo colore può avere nella resa delle tonalità, ma si manifesta specialmente nel campo della luminosità.

Per motivi di economia si è insistentemente cercato di risolvere il problema di ottenere una più forte luminosità sullo schermo senza aumentare eccessivamente l'intensità dell'arco. E questo desiderio è specialmente sentito in certi paesi dove gli amperaggi degli archi da proiezione hanno raggiunto cifre veramente considerevoli. Si è così cercato di accrescere al massimo il *potere riflettente* dello schermo e, al tempo stesso, di sfruttare quanto più possibile la sorgente luminosa.

Ottimi risultati si sono ottenuti coll'impiego di schermi costituiti da una congerie di minutissimi specchi concavi, ottenuti per mezzo di una serie di scanalature orizzontali e verticali aventi raggi di curvatura diversi e disposte sopra una superficie di alluminio. L'ordine di grandezza di questi specchietti è di circa 1 mmq., vale a dire se ne hanno circa 1 milione per ogni metro quadrato di schermo. Qualità caratteristica di questo tipo di schermo è che la luce incidente del proiettore viene riflessa soltanto nella zona della sala nella quale si possono trovare gli spettotori, evitando così inutili e dannose dispersioni. Il costo di questo tipo di schermo viene calcolato, in Germania, in circa 4500 RM. per sale di capacità media, e in circa 10.000 RM. per le sale dei grandi teatri.

Per accrescere lo *sfruttamento della sorgente luminosa* del proiettore, si fa uso, oggi, di speciali carboni ad effetto i quali, oltre ad aumentare il flusso luminoso, consentono una perfetta illuminazione del campo di proiezione. L'uniformità d'illuminazione del campo ha sempre grande importanza in cinematografia a colori, ma ne ha una grandissima quando si tratti di proiettare film lenticolari, perchè, in questo caso, ogni manchevolezza di uniformità produce dominanti cromatiche che falsano completamente la resa.

Coll'aumento del potere riflettente dello schermo e del rendimento della sorgente luminosa, si può oggi ottenere una sufficiente illuminazione di uno schermo di 20 mq. di superficie con un'intensità di 20 Amp. Per superfici maggiori, di circa 50 mq., occorre disporre di una corrente di almeno 80 Amp.

Questi dati, che si riferiscono più specialmente alla proiezione dei film lenticolari, che, come abbiamo più sopra osservato, sono quelli che richiedono le massime intensità luminose, vanno però anche bene per gli altri sistemi, se si vuole ottenere sullo schermo un'immagine veramente brillante.

Un altro elemento che non dev'essere trascurato nella proiezione a colori è costituito dalle caratteristiche della *sala da proiezione*. Se pure l'importanza di questo elemento non raggiunge in questo caso quella che esso ha nella riproduzione sonora, è tuttavia necessario evitare accuratamente tutto quanto possa disturbare l'effetto cromatico dell'immagine e porre in pratica quanto possa migliorarlo.

Si cercherà perciò di evitare che le pareti, i drappeggi e in generale tutte le superfici situate nel campo visuale dello spettatore, e specialmente quelle che si trovano in prossimità dello schermo, abbiano un forte potere riflettente, perchè ogni riflessione od emissione luminosa (anche quella delle lampadine rosse, piastre metalliche o smaltate, e simili) ostacola la buona percezione dell'immagine a colori.

Occorrerà anche evitare che la luce riflessa dallo schermo ricada eccessivamente nella sala, e sopratutto che le pareti del locale presentino colori troppo vivaci, che, riflessi a lor volta sullo schermo, potrebbero facilmente falsare le tonalità. In altre parole, il decoratore della sala dovrà sopratutto evitare il predominio di un determinato colore.

Dobbiamo confessare che, in questo campo, l'esperienza fatta è ancora troppo esigua per consentire di formulare regole esatte e definitive; occorre pertanto ancora seguire i semplici dettami consigliati dalla logica e dalla conoscenza delle circostanze.

Conclusione

Il lettore che ci abbia seguiti pazientemente sin qui è ormai edotto almeno degli elementi principali che costituiscono l'ossatura teorica e pratica del problema della cinematografia a colori. Egli sarà perciò in grado di seguirci con cognizione di causa nelle varie deduzioni che intendiamo esporre, e, meglio ancora, potrà formarsi idee personali su quanto ha attinenza alle molteplici questioni connesse coll'introduzione dell'elemento cromatico nella proiezione cinematografica.

Abbiamo già espresso al principio di questo breve studio quali siano le nostre opinioni in merito all'avvenire della cinematografia a colori: ne siamo convinti fautori e riteniamo che, una volta superate le ultime difficoltà d'ordine tecnico e industriale, e, più ancora, una volta trovate le vie dell'utilizzazione dei mezzi tecnici per raggiungere gli scopi artistici, si creerà a poco a poco nello spettatore il senso del colore sullo schermo, e, con questo, il senso della necessità dell'elemento cromatico.

In generale, quando si pensa alla cinematografia a colori, ci si limita ad ammetterne l'importanza in taluni casi particolari che più colpiscono l'immaginazione delle masse, come nel paesaggio, nel costume, nel folclore. È innegabile che, in questi casi, l'elemento cromatico — di carattere eminentemente ambientale — arreca un contributo essenziale e caratteristico alla riproduzione del vero. Ma si possono pensare infiniti altri casi, meno intuitivi o meno appariscenti, nei quali il colore può conferire alla rappresentazione cinegrafica elementi emotivi assolutamente sconosciuti e non ottenibili col film in bianco e nero.

Una mano cerea che s'accosta a una ferita sgorgante sangue vermiglio, il pallore mortale d'un agonizzante, l'improvviso rossore d'un viso femminile, le guancie livide o infuocate in un accesso d'ira, due labbra rosse che contrastano con una rosa di tonalità delicata, i riccioli biondi d'un bambino, un roseo visetto che s'appoggia all'eburneo candore di un seno materno, la luce livida d'un lampo, il bagliore giallastro d'un colpo d'arma da fuoco, i colori sgargianti degli indumenti d'un tipo dal-

l'eleganza equivoca o quelli di buon gusto d'un raffinato, la sobrietà o la chiassosa volgarità d'un interno, il bacio del tricolore che copre la salma d'un eroe, la luce tremula e giallastra d'un ambiente rischiarato da una candela, le acque torbide d'un fiume o d'un torrente in piena, lo sfolgorio monocromo d'una gemma di colore o quello policromo d'un diamante purissimo, il colore degli occhi, gli occhi arrossati dal pianto, il cerchio livido degli occhi infossati d'una profonda sofferenza fisica o spirituale... Ecco qualche esempio, tra gli infiniti in cui il colore non rappresenta semplicemente un particolare interessante e non indispensabile, ma costituisce l'elemento essenziale e fondamentale della realtà riprodotta.

Senza contare, poi, che questi elementi cromatici consentono, in molti casi, di abbassare il tono d'una espressività mimica o formale, che, per essere evidente, diventa molte volte eccessiva e forzata.

Ora noi sappiamo che tutti questi effetti sono ottenibili, alla condizione di conoscere perfettamente i mezzi che la tecnica pone a disposizione dell'artista e di sapersene convenientemente servire. Ed è facile prevedere che questi mezzi diverranno sempre più perfetti e di sempre più facile impiego.

La constatazione dei valori estetici proprii della riproduzione cromatica, nonchè la previsione dei progressi di perfezionamento e di semplificazione dei sistemi ci consentono dunque di riconfermare una volta ancora la nostra piena fiducia nell'avvenire del film a colori. D'altra parte tutta la storia del cinematografo rappresenta un luminoso esempio del misoneismo negatore sistematicamente sconfitto dal fatale divenire del progresso. I prudenti, vale a dire gli scettici, gli ipercritici, i cacadubbi, hanno più ancora che in altri campi, infestato, ostacolato e spesso negato la marcia del cinema nel suo progredire. Si negò dapprima alla nuova invenzione ogni possibilità di sviluppo; più tardi, di fronte alla sua travolgente diffusione, le si negò ogni valore d'arte; letterati, poeti, attori, commediografi derisero il cinematografo considerandolo un semplice mezzo meccanico di riproduzione, privo d'ogni soffio d'arte; si ricredettero più tardi, ma vollero vedere nell'elemento sonoro la fine dell'individualità artistica dell'opera cinegrafica. Sorpassata anche questa crisi, si lotta oggi contro il colore, polemizzando sui valori estetici di questo nuovo elemento e sottilizzando sul « colore naturale », che, come ora sappiamo, è un'espressione vuota di senso.

Lasciamo dunque dietro di noi queste polemiche inutili e cerchiamo, se possibile, di gettare uno sguardo in avanti, verso l'avvenire. In

questo tema bisogna considerare tale avvenire sotto due punti di vista, diversi, ma conseguentemente collegati, quelli cioè dell'evoluzione tecnica e di quella artistica.

Per quanto riguarda il progresso tecnico, siamo del parere che l'avvenire apparterrà certamente al sistema *Bocca-Rudatis* per la sua innegabile superiorità e per i grandi vantaggi che esso presenta anche alla proiezione, nei confronti di tutti gli altri sistemi, che, secondo noi, difficilmente potranno competere con questo per deficienze proprie della sintesi cromatica sulla quale essi si basano.

È noto che, sinora, il solo sistema che ha potuto affermarsi industrialmente è il *Technicolor*, sottrattivo, tricromico, con stampa per matrici a imbibizione. Il procedimento ha dato risultati veramente ottimi, specialmente nei film di più recente produzione, tra i quali quello che più ci sembra avvicinarsi alla perfezione è *Vogues 1938*. Tuttavia, come abbiamo avuto occasione di accennare nel corso del nostro studio, la società americana proprietaria dei brevetti, tende ad avvicinarsi ai sistemi, pure sottrattivi, ma utilizzanti pellicole a tre strati di emulsione sensibile. La finalità essenziale di questa tendenza è la diminuzione dei costi di produzione, troppo elevati col procedimento attualmente impiegato.

Col *Technicolor* attuale s'impiegano tre pellicole negative e le operazioni delicatissime della stampa per matrici vengono ripetute quattro volte, e cioè tre pei tre monocromi e una per il grigio neutro. Impiegando un sistema a pellicola triemulsionata, come l'*Agfacolor-Neu* o il *Kodachrome* il quantitativo di pellicola torna ad essere identico a quello occorrente per il film in bianco e nero. Il processo di sviluppo è però molto delicato e complesso, e, quanto alla stampa delle copie, sussistono tuttora alcune difficoltà. Bisogna però supporre che i tecnici americani, orientando le loro ricerche verso questi sistemi, prevedano di poter superare gli ostacoli residui e ottenere copie di valore almeno non inferiore a quello dato dal *Technicolor* attuale.

In Germania non si è mai data troppa importanza ai sistemi per stampa con matrici, forse anche perchè in questo campo gli Americani si trovano ad essere possessori di un numero considerevole di brevetti difficilmente eludibili, mentre gli studi si sono orientati verso la stampa delle copie nei sistemi a reticolo lenticolare (*Berthon-Siemens*) e verso i sistemi a pellicola triemulsionata. Per i sistemi lenticolari la Siemens ha compiuto sforzi tecnici e finanziari considerevolissimi, ma i risultati, per quanto buoni, non possono ancora dirsi definitivi. Siamo indotti

a credere che le difficoltà maggiori, più ancora che nella soluzione dello scabroso problema della stampa delle copie lenticolari, siano da ricercare in taluni difetti proprii dei sistemi a reticolo lenticolare: grande assorbimento luminoso della luce di proiezione, visibilità del reticolo sotto forti ingrandimenti, e deficienze proprie della sintesi addittiva.

Nel settore dei sistemi a pellicole triemulsionate l'*Agfa* ha ottenuto risultati pregevoli nelle copie per inversione dall'originale; tutto fa ritenere che anche le ultime difficoltà inerenti alla stampa delle copie da un controtipo a colori complementari potranno essere eliminate quanto prima.

L'esame obiettivo del faticoso cammino percorso da tecnici, inventori e scienziati per giungere alla soluzione integrale e definitiva dell'annoso problema che qui ci interessa ci porta alla conclusione che tutti i sistemi sinora escogitati presentano difetti che, in maggiore o minore misura, ne ostacolano la diffusione. Non ci permetteremmo, in uno studio che dev'essere anzitutto obiettivo e sereno, prendere deliberatamente partito per l'uno o per l'altro sistema; ma la constatazione degli innegabili vantaggi, già praticamente provati, anche nella fase iniziale, ci autorizza a uscire da un doveroso riserbo per confermare una volta ancora la nostra profonda convinzione che il più brillante avvenire è certamente riservato al nuovo sistema italiano *Bocca-Rudatis*. Questa nostra convinzione è fondata tanto sulla assoluta bontà dei risultati ottenuti, quanto sulla semplicità dei mezzi occorrenti, quanto infine sulla incomparabile praticità del sistema.

A differenza di altri non pochi nostri lavori su argomenti cinematografici, questo sul colore può chiudersi oggi con un elogio senza riserve della genialità e della tenacia italiane, che hanno saputo arrecare, in questo campo così difficile, una parola certamente nuovissima e che non esitiamo a ritenere definitiva.

Ci sia consentito esprimere il nostro orgoglio d'Italiani per questa lusinghiera constatazione. Ma ci sia pure concesso di esprimere la fiducia che, nel clima attuale della nostra vita nazionale, i frutti del lavoro italiano non ci verranno sottratti, per indifferenza nostra, dalla sempre vigile rapacità degli altri.

Chiudiamo dunque questo nostro lavoro esprimendo la nostra gioia vivissima per la nuova vittoria della genialità italiana, nonchè la speranza e vorremmo dire la certezza che questa volta tale genialità venga sfruttata non solo in Italia, ma nel mondo intero, nel solo vantaggio morale e materiale del nostro Paese.

Elenco riassuntivo dei principali sistemi della cinematografia a colori

Abbiamo indicato, per ogni sistema, la nazionalità del procedimento. (*Am.* = S.U.A.; *Fr.* = francese; *It.* = italiano; *T.* = tedesco; *In.* = inglese; *Ol.* = olandese). Ben inteso, in molti casi questa indicazione ha carattere relativo, perchè sistemi ideati in un paese sono stati poi modificati, spesso sostanzialmente, in altri Stati.

AGFA BIPACK LENTICOLARE (*T*), misto tricromico: sottratt. per verde-blu, lentic. per giallo e porpora.

AGFACOLOR (*T.*), add. lentic. tricrom. (16 mm.).

AGFACOLOR (*T.*), add. bicrom. reticolo policromo irregolare (16 mm.).

AGFACOLOR-NEU (*T.*), sottr. tricrom. a 3 strati di emulsione (sviluppo colorante).

AGNOLA (*It.*), sottratt. quadricromico, con quattro immag. disposte a coppie orizzontali con presa successiva. Colorazione chimica dei monocromi.

AUDIBERT (*Fr.*), add. tricrom. 4 immagini su film 65 mm.; positivo su film autocromo *Lumière*.

AUTOCHROME (*Fr.*), v. *Lumière*.

BASSANI (*Fr.*), add. tricrom. 3 immagini su fotogr. norm. 2 superiori e una sotto, esposizione successiva. Proiez. con lente tripla composta di 3 obiettivi sezionati e riuniti.

BERTHON (*Fr.*), add. tricrom. lenticolare.
BERTHON-SIEMENS (*Fr.* e *T.*), add. tricrom. lenticolare; speciale sistema di stampa.

BOCCA-RUDATIS (*It.*) a elementi lenticolari rifrangenti modulati (stereotipici). Sintesi essenzialmente addittiva. Trasformazione dei mo-

nocromi in stereotipo a elem. lentic. Stampa copie per pressione sotto stereotipo matrice.

BONNEAU (*Fr.*), add. tricrom. 3 immagini su film *largeur;* positivo ridotto su 35 mm.; i tre monocromi occupano fotogr. normale.

BREWSTER (*In.*), sott. tricrom. 3 negat. separati presi con macch. speciale a otturatori obliqui a specchio. Stampa su positivo a due strati, terzo colore con matrice a rilievo.

BUNNING (*Am.*), add. bicromico.

BUSCH (*T.*), add. bicrom.; 2 monocr. per fotogr. normale disposti con asse verticale normale al film. Proiez. con due lenti e sistema prismatico.

CASIRAGHI (*It.*), add. tricrom. avanzamento a gruppi di 8 perforaz. normali, contenenti i 3 monocromi successivi 12,6 x 16,8.

CICONA (*It.*), v. *Gualtierotti.*

CINECOLOR (*Am.*), sottratt. bicr. o tricr. presa su bipack con apparecchio tipo *Technicolor.* Positivo a doppio strato più stampa a matrice del terzo colore (giallo).

CINECOLOR (*In.*), add. bicrom.; 2 monocr. con immagini come in *Busch* e *Gilmore.* Proiezione con 2 filtri e sistema prismatico raddrizzatore.

CINEOPTICHROME (*Fr.*), add. tricrom. e quadricr.; 4 immagini affiancate su fotogr. normale, ottenute con obiettivo principale e 4 secondari fra quello e film. Proiezione con ottica analoga.

COLORATURA (*Am.*), sottr. bicrom. negat. bipack, positivo a 2 strati, uno colorato con colorante, l'altro virato con sale metallico.

COLORCRAFT (*Am.*), sottr. bicrom. negat. bipack, positivo a un solo strato. Colorazione all'joduro per mordenzatura.

COLORFILM (*Am.*), sottr. bicrom. negat. bipack, positivo a 2 strati, virati tutti e due in rosso-arancio all'uranio, poi uno virato ancora al ferro e trasformato in verde-blu.

Dascolour (*Bel.*, *Fr.* e *In.*), sottr. bicrom. negativo con Debrie bipack. Positivo su film pos. normale. Stampa, risensibilizzazione, seconda esposizione; una immagine colorata per mordente, l'altra con ferrocianuro di K.

Dufaycolor (*Fr.* e *In.*), additt. reticolato policromo regolare (tricrom.).

Dufay-Cromex (*Fr.* e *In.*), additt. bicromico immagini come *Busch* e *Gilmore*.

Duplex (*Am.*), additt. reticolato policromo regolare, con reticolato separato dall'emulsione sensibile (2 lastre separate).

Finlay (*Am.*), additt. tricrom. reticalo policromo regolare.

Francita (*Fr.* e *It.*), addit. tricrom.; 3 fotogr. disposti a triangolo su fotogr. normale. Proiez. con obiettivo triplo sezionato; più tardi con obiettivo composto; uno principale e tre secondari.

Friese-Greene (*Am.*), additt. bicrom.; immagini alternate; proiettore con disco a settori colorati.

Gasparcolor (*T.* e *In.*), sottr. tricrom. negat. a tre immagini, posit. su film a tre strati; due da una parte, uno dall'altro. Processo di decolorazione all'Ag.

Gaumont (*Fr.*), add. tricrom. Presa e proiezione con obiettivo triplo.

Gilmore Color (*Am.*), add. bicrom.; 2 monocr. accopp. su 35 mm. con asse verticale normale alla lungh. del film. Proiett. con due filtri e sistema di prismi raddrizzatori. (V. *Busch* e *Cinecolor*).

Gualtierotti (*It.*), add. bicrom.; negat. su pellicola doppia a perforaz. laterale e centrale; posit. normale colorato in verde e rosso.

Handschiegel (*Am.*), sistema di colorazione per stampigliatura su bianco e nero.

Harmonicolor (*Fr.* e *In.*), sottr. bicrom.; presa su bipack Agfa; posit. su film biemulsionato.

Harriscolor (*Am.*), sottr. bicrom., presa 2 negat. separati. Stampa su posit. normale; monocromo rosso-arancio attraverso il supporto, virato al Fe e asciugato allo scuro. Monocr. verde-blu, stampato

su residuo superficiale emulsione, sviluppato e virato in rosso-arancio.

HERAULT (*Fr.*), add. tricrom. I monocromi positivi sono colorati nei tre colori dei filtri. Proiezione a 24 imm.-sec. con proiettore a movimento continuo.

HILLMANN (*In.*), add. bicrom.; 2 immagini una sull'altra con filtri oscillanti, ogni monocromo è esposto due volte, una sotto ciascun filtro.

HUDELEY (*Am.*), add.; 3 immagini ridotte su fotogr. normale; positivo ingrandito al 18 x 24 su film lenticolare mediante filtri.

JOLY COLOR (*Am.*), add. reticolo regolare policromo (antico sistema di lastre).

KELLEYCOLOR (*Am.*), sottr. bicrom. Presa con filtro rotante. Positivo a 2 strati; uno virato al Fe l'altro all'Ur.

KELLER-DORIAN-BERTHON (*Fr.*), add. tricrom. lenticolare a filtro tricromico a striscie.

KINEMACOLOR (*Am.*), add. bicrom. con otturatore-filtro rotante tanto alla presa che alla proiezione.

KODACHROME (*Am.*), (primo sistema), sottr. bicrom., 2 negativi separati, 2 positivi separati, quindi stampa contempor. sulle due emulsioni di un positivo a due strati ai due lati del supporto, mediante complessa stampatrice. Quindi processo di sbianchimento e spogliamento della gelatina.

KODACHROME (*Am.*), (secondo sistema), sottr. tricrom. Negativo a tre strati. Processo d'inversione.

KODACOLOR (*Am.*), add. lenticolare su 16 mm.

LIGNOSE (*T.*), add. tricrom. reticolo policromico irregolare (fotogr.).

LUMIERE (*Fr.*), add. tricrom. reticolo policromico irregolare.

MAGNACOLOR (*Am.*), V. *Kelleycolor.*

MAGNACHROME (*Am.*), add. bicrom. monocromi a coppie di altezza metà del normale.

MORGANA (*Am.*), add. bicrom.; i due filtri oscillano tra obiettivo e film. Film invertibile pancrom. 16 mm.

MULTICOLOR (*Am.*), sottr. bicrom. Bipack. Stampa su positivo a due strati dai due lati del supporto. Stampa contempor. con due sorgenti luminose opposte. Viraggio separato dei due strati, uno al Fe l'altro all'Ur.

PAGET COLOR (*In.*), add. tricrom. reticolo policromo regolare (fotogr.) più tardi prese il nome di *Finlay*.

PATHECHROME (*Fr.*), sistema di colorazione del film in bianco e nero mediante stampigliatura dei fotogrammi.

PHOTOCOLOR (*Am.*), sottr. bicrom., 2 negativi separati. Stampa come *Multicolor*. Colorazione per contatto su positivo a 2 strati.

POLYCHROMIDE (*In.*), sottr. tricr. sbianchimento e al mordente.

PRIZMA (*Am.*), V. *Kelleycolor*.

PROCEDES « 33 » (*Fr.*), add. tricrom. negat. ottenuto con un obiettivo princip. e tre secondari. Posit. ingrandito riportando i tre monocromi su film lentic. in formato normale.

RAYCOL (*In.*), add. bicrom. Negativo a 2 immag. ridotte una al disopra dell'altra in fotogr. normale disposte a diagonale ai due angoli del fotogr. normale. Nel positivo le due immagini risultano una sopra all'altra verticalmente. Proiezione con lenti sezionate accoppiate.

RONCAROLO (*It.*), sottr. bicr. e tricr. Presa con blocco prismat. anteriore e obiettivi multipli. Posit. per stampa a matrice per imbibizione.

SENNET COLOR (*Am.*), sottr. bicrom. Bipack. Positivo simile *Multicolor*.

SIRIUS KLEUREN (*Ol.*), sottr. bicrom. Negativi separati. Stampa su positivo a due strati opposti separati dal supporto e da uno strato opaco, colorato al perossido di Mn, e che si scolora nello sviluppo.

SPECTRACOLOR (*In.*), sottr. bicrom. Neg. Agfa Bipack. Positivo a due strati opposti, colorati uno al viraggio verde-blu, l'altro al mordente in rosso-arancio.

SPLENDIDCOLOR (*Am.*), sottr. tricrom. Positivo con colorazione per imbibizione al bicromato.

SPICER-DUFAY (*Fr.* e *In.*), add. tricrom. a reticolo policromo regolare.

SZCZEPANIK (*T.*), add. tricrom. Apparecchio a compens. ottica con 18 obiettivi con tre immagini simultanee.

TECHNICOLOR (*Am.*), sottr. tricrom. Negativo: 2 bipack e terzo separato. Positivo: da matrici per imbibizione.

TRUECOLOR (*In.*), sottr. tricrom. Mancano particolari.

UFACOLOR (*T.*), sottratt. bicrom. Neg. bipack, positivo dipo a due strati.

VITACOLOR (*Am.*), add. bicrom. analogo al *Kinemacolor*.

Bibliografia

(sono stati notati esclusivamente studi originali)

Abbreviazioni:

Ver. Agfa: Veröffentlichungen des wissentschaftlichen Zentrallaboratoriums der photographischen Abteilung AGFA. - S. Hirzel, ed., Lipsia.

Z. w. Ph.: Zeitschrift für wissentschaftliche Photographie.

AHRENS H.: *Ueber einige für die photographische Abbildung wichtige psychologische Phänomene* - Ver. Agfa, Vol. V, 1937.

BIEHLER, Dr. ARPAD v.: *Ueber die Agfa-Bipack-Kinematographie* - Ver. Agfa, Vol. III, 1933.

CHAMPFLEURY, R.: *Procédés additifs ou soustractifs,* in « La Technique Cinématographique », giugno 1938, Parigi.

CRABTREE J. I.: *Abr. Scientif. Publ. Eastman-Kodak* - Vol. IV (1919/20). P. 198.

CUNNINGHAM W. T. P.: *Photogr. Ill.* - Maggio 1934.

EGGERT J.: *Berichte VIII. int. Kongr. Phot.* - Leipzig, 1932, p. 214.

EGGERT J.: *Der Stand der Farbenphotographie* - Ver. Agfa, Vol. V. 1937.

FLADRICH C.: *Die additiven Farbfilm-Verfahren,* in « Film und Bild », n. 11 e 12, 1936, Berlino.

FRANK Dr. O.: *Farbmessung, Farbnormung,* in « Kinotechnik », n. 6, maggio 1937, Berlino.

GASPAR B.: *Z. w. Ph.*, n. 34 (1935), p. 119.

GRETENER E.: *Physik und Technik des Berthon-Siemens-Farbfilm-Verfahrens,* in « Z. f. techn. Phys. », n. 4, 1937, Lipsia.

HAMANN R.: *Geschichte der Kunst* - Berlin, 1933.

HARRISON G. B. e SPENCER D. A.: *Negative-Positive Processing of Dufaycolor Film,* in « Phot. Journ. », aprile 1937.

HERING E.: *Lehre vom Lichtsinn* - Berlin, 1930.

HEYMER Dr. G.: *Auflösungsvermögen und Farbwiedergabe in der Farbraster-photographie* - Ver. Agfa, Vol. III, 1933.

HEYMER Dr. G.: *Farbenfilm nach dem Silberfarbleichverfahren* - Ver. Agfa. Vol. IV, 1935.

HEYMER Dr. G.: *Der Linsenraster-Zweipack* - Ver. Agfa, Vol. V, 1937.

HEYMER Dr. G.: *Ueber die Messung der Gradationen von Farbenfilmen* - Ver. Agfa, Vol. V, 1937.

HOLLEBEN Dr. K. von: *Das neue Agfacolor-Verfahren* - Harzburg, 1937.

IGNATOW G.: *Das Gasparcolor-Verfahren etc.*, in « Kinotechnik », n. 6 - Maggio 1937, Berlino.

JUNGHANS CARL: *Farbe und Film,* in « Der deutsche Film » - Berlino, Agosto 1936.

KATZ D.: *Der Aufbau der Farbwelt* - Zeisch. Psychol. Erg., Vol. VII, Lipsia, 1930.

KLUGHARDT A. e RICHTER M.: *Experimentelle Bestimmung einer Farbreihe empfindungsgemäss gleicher Sättigung,* in « Zeit. Sinnesphysiol. », 66 (1935), pag. 103-136.

KNOCHE Dr. P.: *Das Gasparcolor-Verfahren* - Filmtechnik, 19-8-1933.

KLEIN A. B.: *Colour Cinematography* - Chapman. & Hall, 1936, Londra.

LIESEGANG F. PAUL: *Wissentschaftliche Kinematographie* - Ed. E. Liesegang, 1920, Düsseldorf.

METZGER W.: *Gesetze des Sehens* - Frankfurt a. M., 1936.

MUTHER K.: *Geschichte der Malerei des 17. Jahrhunderts* - Leipzig, 1930.

PAPE Dr. Ing. W.: *Farbfilm und Projektion,* in « Kinotechnik », n. 6, maggio 1937, Berlino.

POHLMANN G.: *Das Ufacolor-Verfahren,* in « Kinotechnik », n. 6, maggio 1937, Berlino.

R. A.: *Il nuovo sistema italiano per la cinematografia a colori naturali,* in « Cinema », Anno III, Vol. I, 10-6-1938-XVI, Roma.

RICHARD A. P.: *Notions préliminaires sur la couleur,* in « La Cinématographie Française », n. 1025, 24-6-1938, Parigi.

SCHNEIDER W.: *Agfacolor-Neu* - Ver. Agfa, Vol. V, 1937.

SCHWARZ R. B. e TUTTLE H. B.: *Medical Motion Pictures in Colour,* in « J. Soc. Mot. Pict. Eng. », 28 (1937), n. 2.

SINGER R.: *Le Procédé Technicolor,* in « Technique Cinématographique », giugno 1938, Parigi.

STORCH PAUL: *Das Berthon-Siemens Farbfilm-Verfahren* - Berlin, Siemsstadt, 1936.

The Projection of lenticular Color-Film, in « J. Soc. Mot. Pict. Eng », 1937, pag. 123-135.

WEIL F.: *Das Agfacolor-Verfahren in der Kleinbild-Photographie* - Ver. Agfa, Vol. III, 1933, Berlino.

WEIL F.: *Das Agfacolor-Verfahren in der Kleinbild-Photographie* - Ver. Agfa, Vol. V, 1937, Berlino.

WILD Ing. C.: *Le procédé Dufaycolor négatif-positif 35 mm.*, in « La Cinématographie Française », n. 1025, 24-6-1938, Parigi.

ZORZI E.: *La Cinematografia a colori diventa maggiorenne,* in « Corriere della Sera », 24-6-1938-XVI, Milano.

INDICE

LUIGI FREDDI - *Direttore*

Luigi Chiarini - *Vice Direttore responsabile*

« Laboremus » - Via Capo d'Africa, 54 - Roma - Telef. 74-633

Tavole

Tavola I

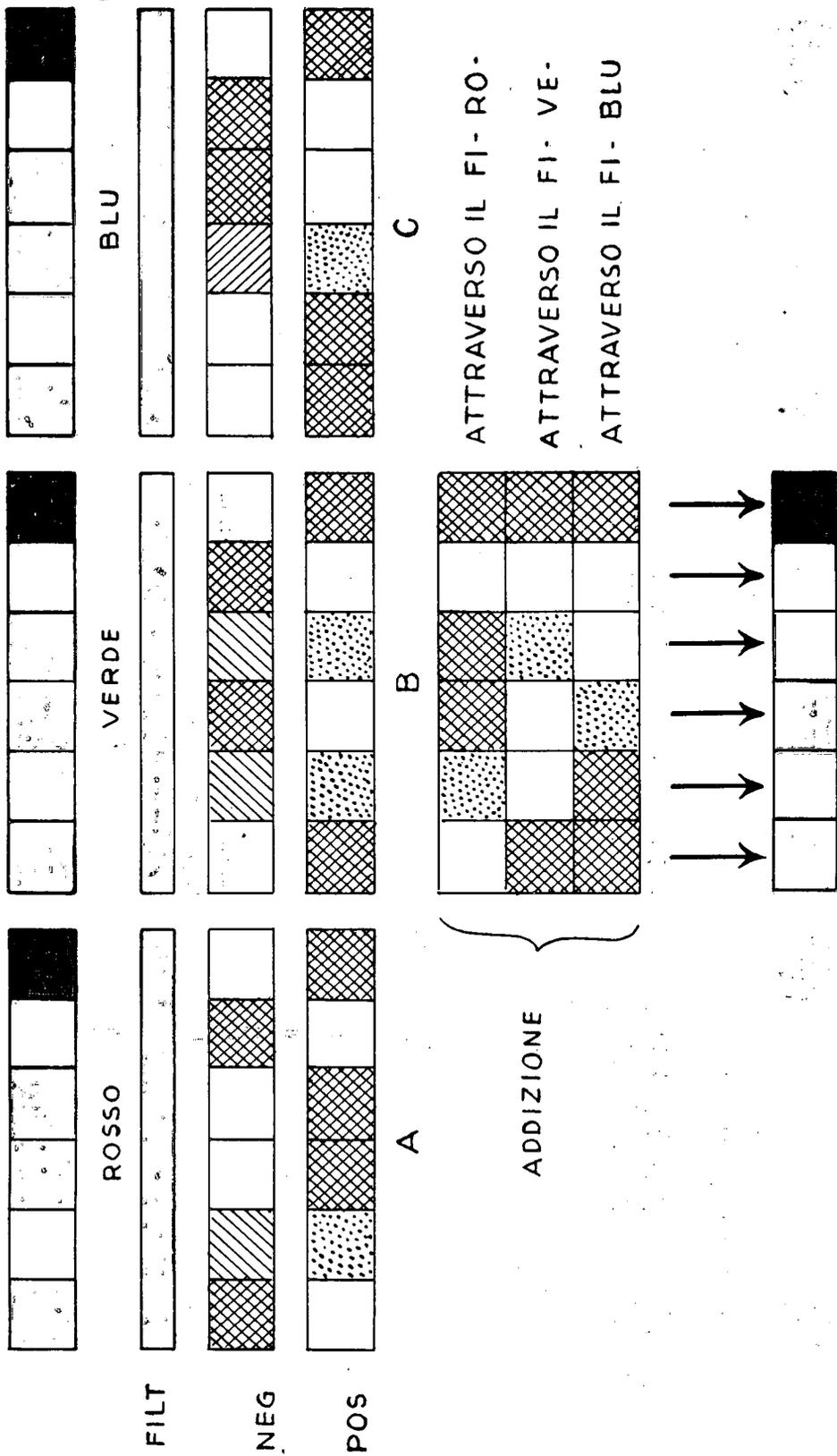
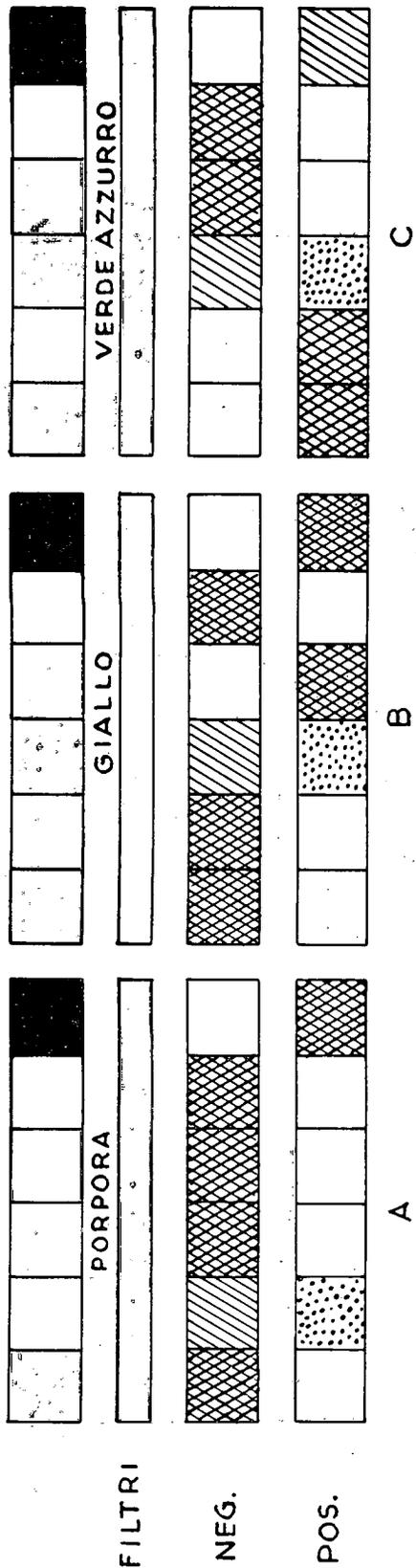
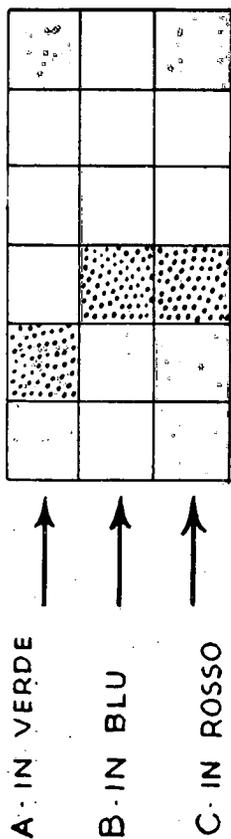
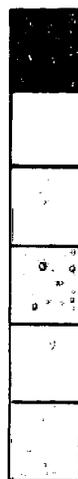
ROSSO
VERDE
BLU
FILT
NEG
POS
A
B
C
ADDIZIONE
ATTRAVERSO IL FI- RO-
ATTRAVERSO IL FI- VE-
ATTRAVERSO IL FI- BLU

PORPORA
GIALLO
VERDE AZZURRO
FILTRI
NEG.
POS.
A
B
C
COLORAZIONE DEI NERI NEI COLORI COMPLEMENTARI
A · IN VERDE
B · IN BLU
C · IN ROSSO
SOTTRAZIONE

TAVOLA III.

DISPOSIZIONE DEI FOTOGRAMMI NEI PRINCIPALI SISTEMI A SINTESI ADDITTIVA

1ª riga: *Raycol* (vecchio tipo); *Raycol* (nuovo tipo); *Cineoptichrome.*
2ª riga: *Francita* (negat.); *Audibert*; *Francita* (posit.).
3ª riga: *Bassani*; *Gualtierotti N. 2*; *Casiraghi.*

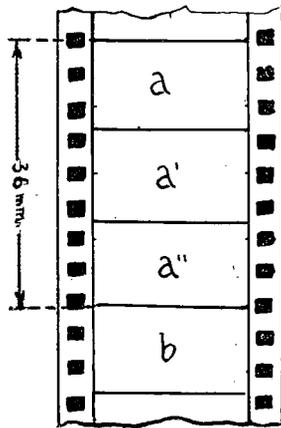
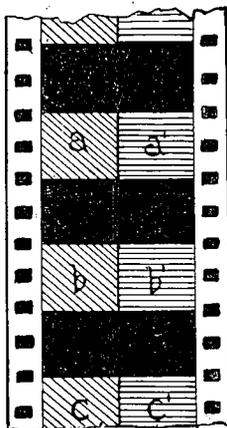
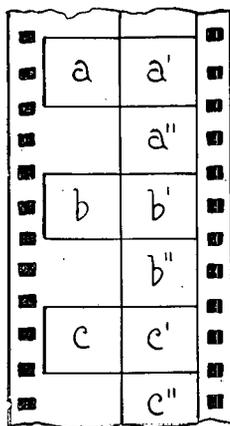
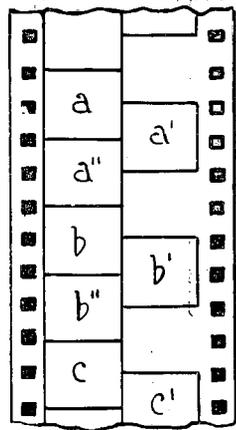
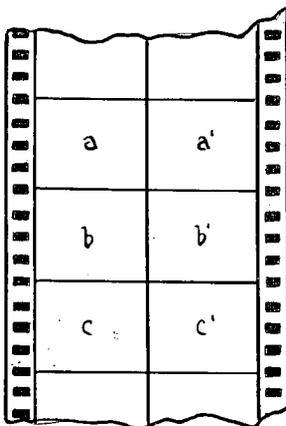
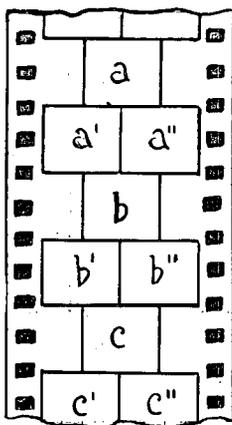
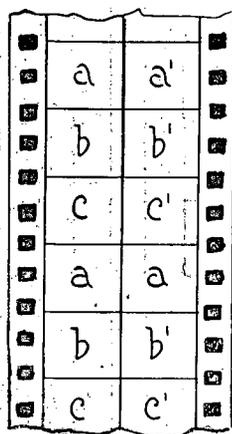
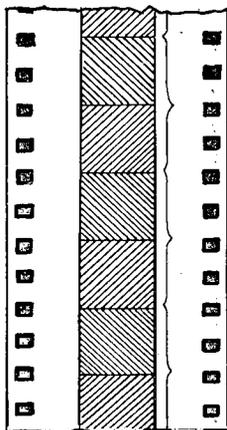
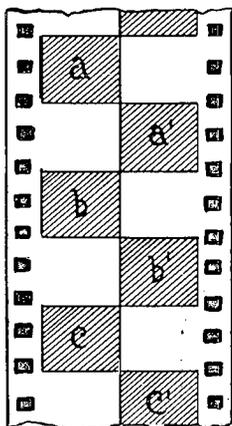



FIG. 15. — *Positivo* Francita

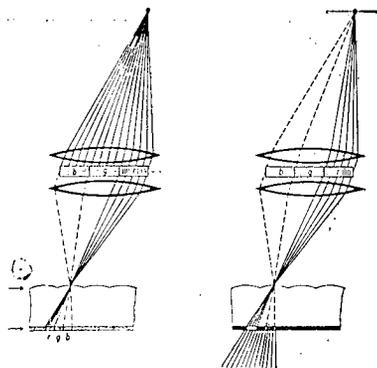



FIG. 27. — *Schema del sistema lenticolare* Berthon

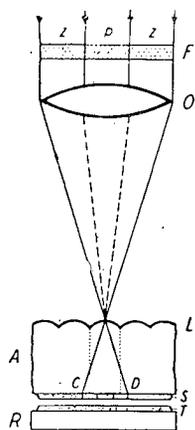



FIG. 28. — *Schema del sistema bipack-lenticolare* Agfa

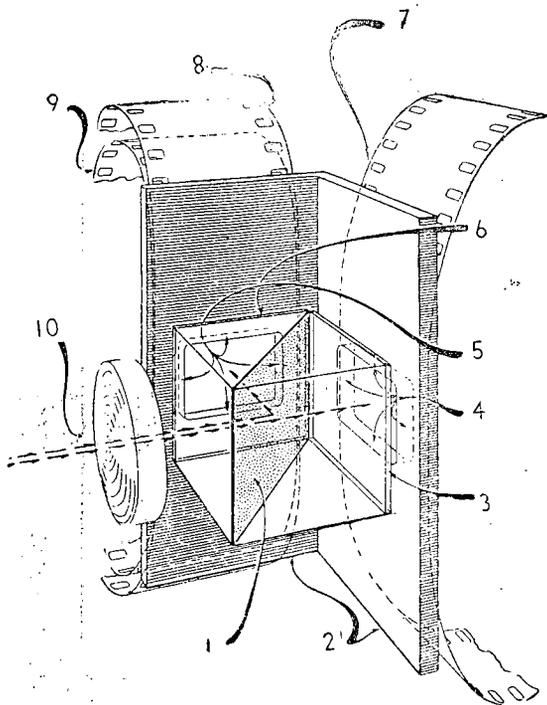



FIG. 29. — *Schema della presa* Technicolor

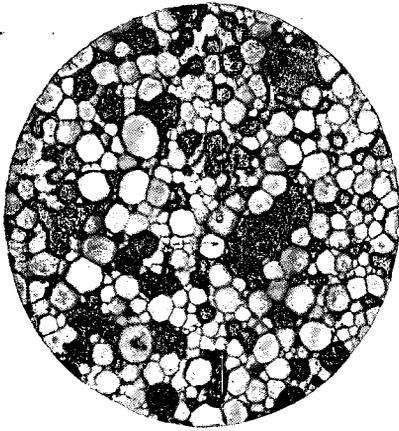



FIG. 42. — *Agfacolor* (lastre)

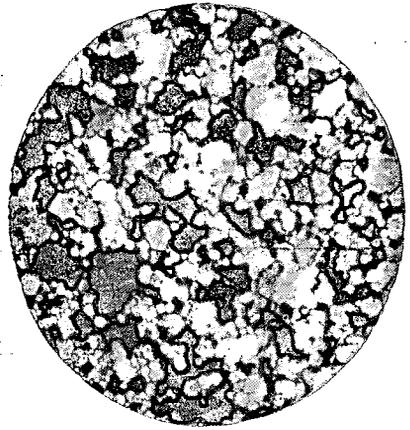



FIG. 43. — *Agfacolor* (film)

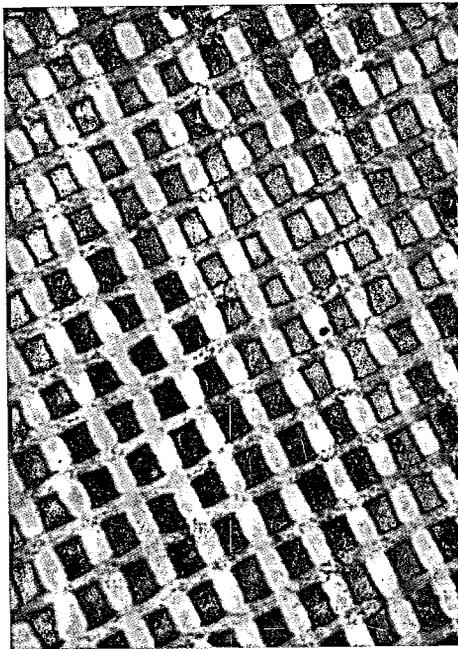



FIG. 44. — *Reticolo* Dufaycolor

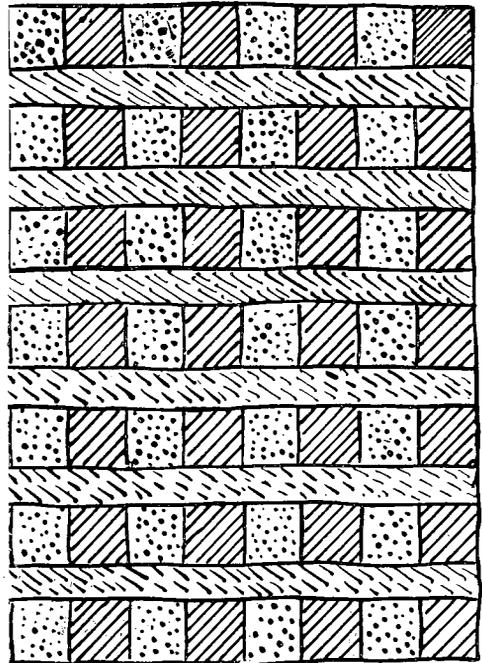



FIG. 45. — *Reticolo* Spicer-Dufay

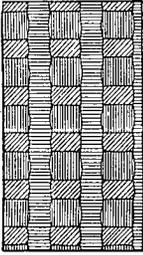



FIG. 46. — *Reticolo* Spicer

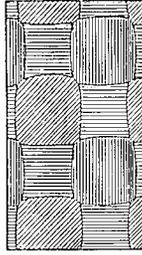



FIG. 47. — *Reticolo* Paget (Finlay)

FIG. 48. — *Reticolo* Piller

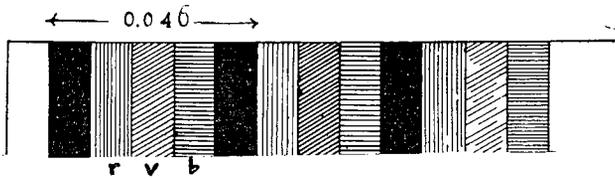



FIG. 51. — *Striatura lenticolare* Keller Dorian-Berthon

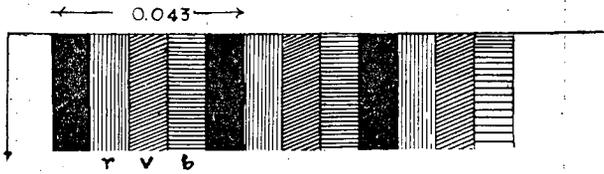



FIG. 52. — *Striatura lenticolare* Kodacolor

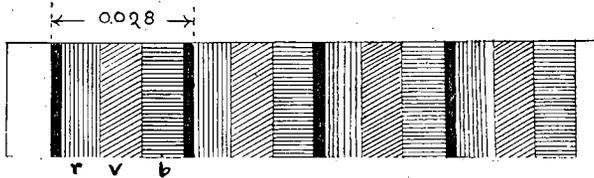



FIG. 53. — *Striatura lenticolare* Agfacolor

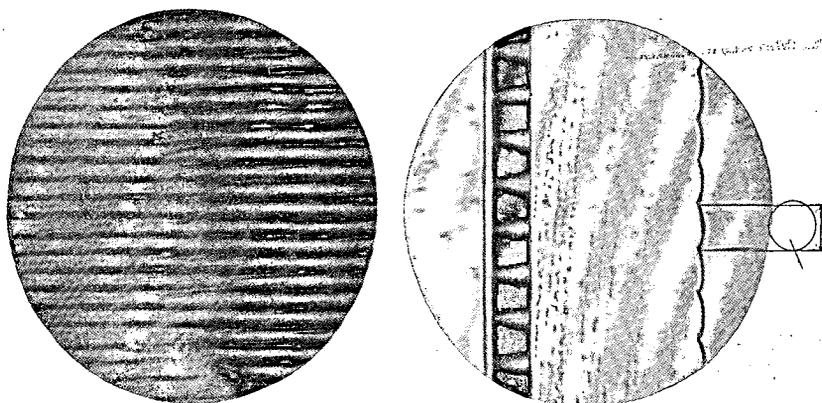



Fig. 55. — *Microfotografia d'un film a striatura lenticolare (a destra sezione del film)*

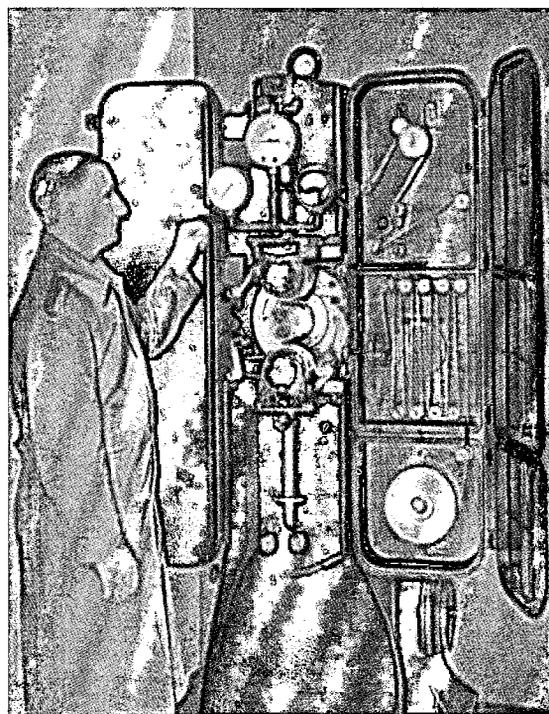



Fig. 56. — *Macchina per l'incisione del reticolo* Berthon-Siemens

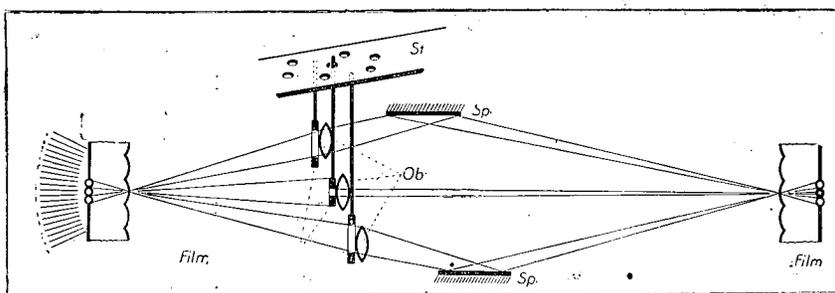



Fig. 67. — *Schema del procedimento di stampa nel sistema* Berthon-Siemens

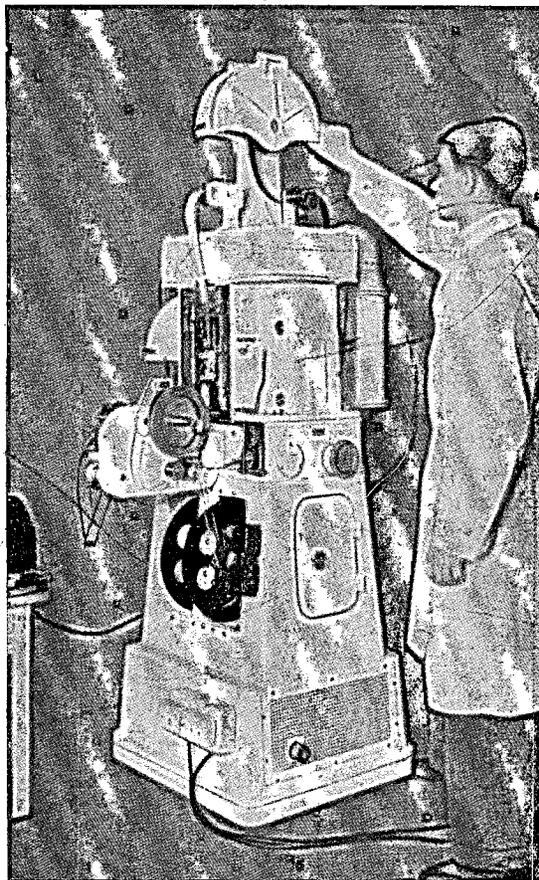



Fig. 68. — *Stampatrice* Berthon-Siemens

SOGGETTO
Materiale fotografico dopo l'esposizione
sensibilità
componenti
Sviluppo in bianco e nero
Inversione a colori
Ag alogeno
Immagine latente
Eliminazione dell'Ag
Ag ridotto
IMMAGINE
STRATI SENSIBILI AL:
blu
verde
rosso
COLORAZIONE IN:
giallo
porpora
verde azzurro

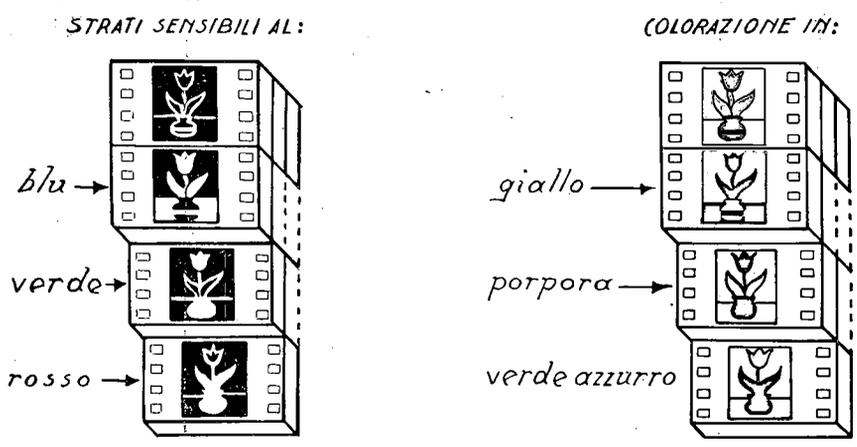
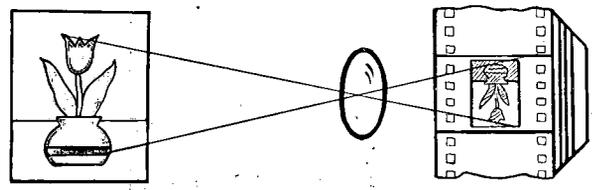
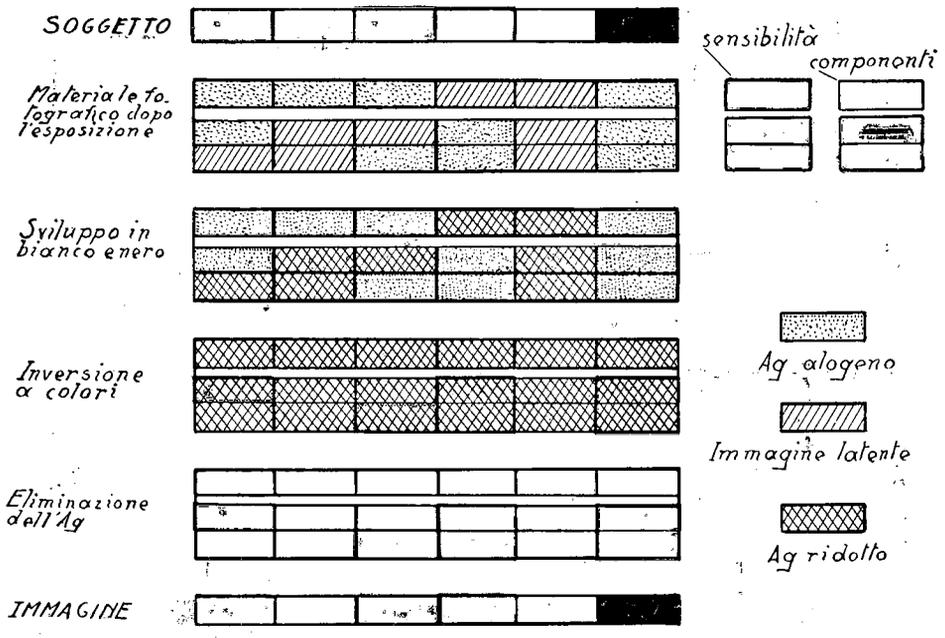
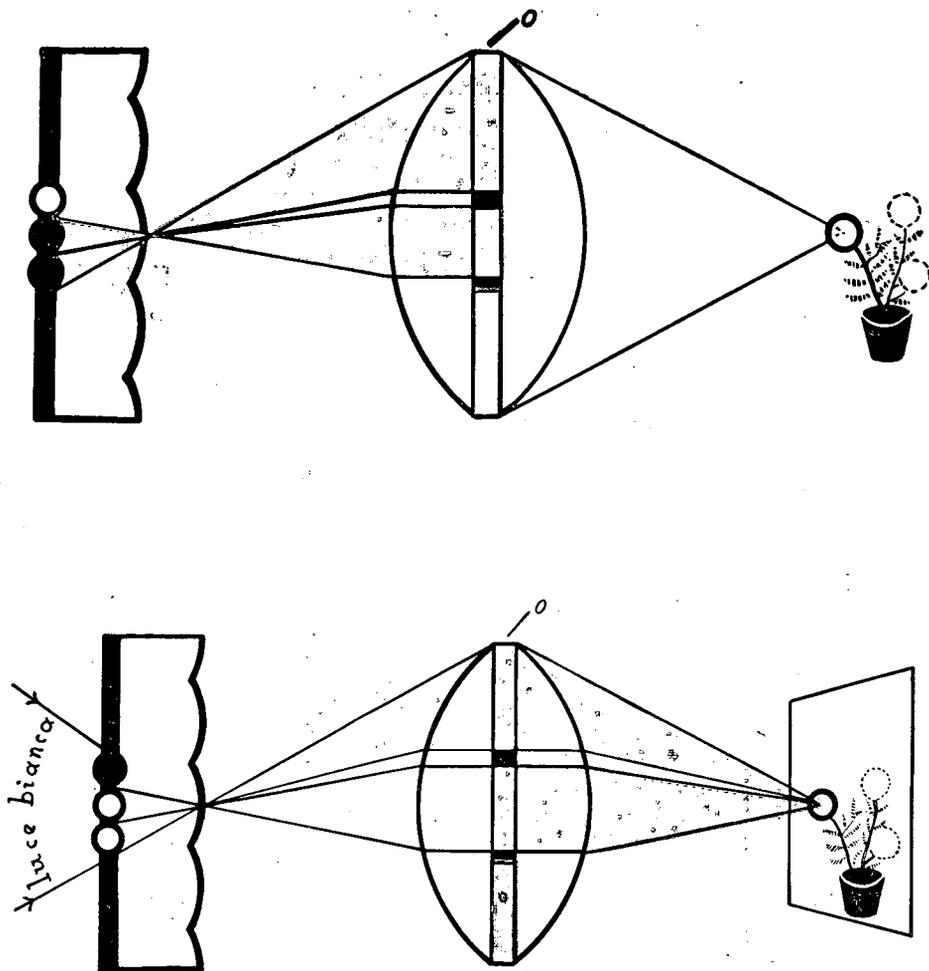



FIG. 38.

SCHEMA DEL SISTEMA LENTICOLARE BERTHON

In alto: *schema della presa di un elemento giallo*

In basso: *schema della riproduzione di un elemento giallo* (sintesi additiva)